



Ronja Saarinen

Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kuntotutkimukset, korjaustarpeen arviointi ja vaikutukset sisäilmaan

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 16.10.2017

Valvoja: Professori Heidi Salonen

Ohjaaja: DI Virpi Sandström

Tekijä Ronja Saarinen

Työn nimi Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kuntotutkimukset, korjaustarpeen arviointi ja vaikutukset sisäilmaan

Koulutusohjelma Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka

Pää-/sivuaine Rakennusmateriaalit ja rakennusfysiikka/ **Koodi** IA3017/ IA3022
Rakentamistalous

Työn valvoja Heidi Salonen

Työn ohjaaja(t) Virpi Sandström

Päivämäärä 16.10.2017 **Sivumäärä** 101 s. + 23 liites. **Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kuntotutkimukset ja korjaustoimenpiteet ovat vaihdelleet paljon eikä yhtenäisiä käytäntöjä ja ohjeistuksia ole ollut saatavilla. Diplomityön tavoitteena oli antaa suosituksia käytettävistä tutkimusmenetelmistä sekä tutkimusten perusteella tehtävistä toimenpidesuosituksista ja korjaustoimenpiteistä. Tutkimusaineistona oli 18:ssa kohderakennuksessa tehty tutkimusraportit. Raporttien perusteella selvitettiin tehtyjen tutkimusten sisällöllistä eroavaisuutta sekä verrattiin tehtyjen havaintojen ja annettujen toimenpidesuosistusten johdonmukaisuutta. Työssä tarkasteltiin lisäksi rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa, kohteista kerättyjen materiaalinäytteiden mikrobianalyysituloksia sekä ulkoseinän vaikutusta sisäilman laatuun.

Kuntotutkimuskohteissa oli tehty eniten suppeita, tiettyä rakennetta tai ilmiötä tarkastelevia tutkimuksia ja selvityksiä, jolloin kokonaisuuden tarkastelu on jäänyt rajalliseksi ja toimenpidesuosituksset ovat usein perustuneet pitkälti epäpuhtaushavaintoihin. Erityisesti melko kattavissa tutkimuksissa on ulkoseinän purkusuosituksista huolimatta monesti jätetty julkisivurakenteen kokonaistarkastelu liian vähäiselle huomiolle. Materiaalinäytetutkimuksissa oli usein keskitytty ulkoseinän alaosan tarkasteluun. Näytteiden analyysitulokset osoittivat kuitenkin, että eri korkeuksilta otettujen näytteiden vaurioviitejakauma oli varsin samanlainen. Huomioitavaa on, ettei kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen eristekerros välttämättä sisällä mikrobikasvua rakenteen heikosta kosteusteknisestä toiminnasta huolimatta. Tutkimuksen mukaan kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen ilmatiiviyspuutteet voivat yhdessä eristemateriaalien epäpuhtauksien, kuten kuitujen ja mikrobien, kanssa olla merkittävin sisäilman haitallista altistumisen todennäköisyyttä määrittävä osatekijä. Eristemateriaalissa olevat epäpuhtaudet voivat siirtyä rakenteen epätiiviyskohdista sisäilmaan, mikäli huonetila on alipaineinen ulkoilmaan nähden.

Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen korjaustarpeen ja -laajuuden määrittämisen tulee perustua kokonaisvaltaisiin rakenteen sisä- ja ulkopuolisiin tutkimuksiin. Tutkimusten raportoinnin tulisi olla yksiselitteistä ja selkeää, jotta virhetulkintojen mahdollisuus minimoituisi. Tutkimuksen sekä teoriatarkasteluiden perusteella esitämme ohjeen rakenteen kannalta oleellisiksi todetuista tutkimusmenetelmistä. Tutkimusten tulisi sisältää kohdetietietoihin perehtymisen, aistinvaraisia havaintoja, ilmatiiveystarkasteluita, sisä- ja ulkoilman välisen painesuhteiden määrittämisen sekä rakennearvauksia. Materiaalinäytteitä tulisi kerätä jokaisesta ilmansuunnasta, ulkoseinän eri alueista sekä aistinvaraisten havaintojen perusteella vaurioituneesta ja ei vaurioituneesta osasta. Tutkimushavaintojen ja johtopäätösten perusteella tehtäviin korjausehdotuksiin esitämme mallia, jossa korjauslaajuudet ovat tarkoituksenmukaisesti jaettu hyvin paikallisiin sekä paikallisiin korjauksiin, eri laajuisiin ilmatiiveyden parantamisiin sekä purkutoimenpiteisiin.

Avainsanat Kerroksellinen tiiliulkoseinä, kuntotutkimus, tutkimusmenetelmät, altistumisolosuhteen arvio

Author Ronja Saarinen		
Title of thesis Condition assessment and repair estimating of a layered exterior brick wall and the impact on indoor air		
Degree programme Structural Engineering and Building Technology		
Major/minor Building Materials and Building Physics/ Building Economics		Code IA3017/ IA3022
Thesis supervisor Heidi Salonen		
Thesis advisor(s) Virpi Sandström		
Date 16.10.2017	Number of pages 101 p. + 23 app.	Language Finnish

Abstract

Condition assessments and repair methods of a layered brick-wall have varied and there have not been any clear or uniform instructions available. The aim of the study was to form recommendations for survey methods as well as the conclusions and repair methods based on investigations. The research material of the study was condition assessments of 18 buildings. Differences of the condition assessments as well as the consistency of the observations and recommendations were evaluated. The thermal and moisture-technical function of the structure, the microbiological analysis results of the collected material samples and the impact of the external wall on indoor climate were also considered.

The evaluated surveys were typically relatively brief investigations in their scope and evaluated mostly a specific structural part or phenomena, whereas the evaluation of the whole building was not taken in consideration and recommendations were mostly based on microbial findings. Despite of demolition recommendations of the façade, the assessments of the façade structure were considered less. Majority of material samples taken from the case building were from the lower part of the wall. However, according to the microbiological analysis results, the distribution of impurities in the samples taken across the wall was very similar. It is noteworthy, that based on the study, the insulation layer of the layered brick-wall structure does not necessarily contain microbial growth despite the deficient moisture-technical function of the structure. It was found that in addition to microbial growth, a major reason for an increased probability of exposure is defects in airtightness of the internal wall structure. Possible contaminants of the insulation layer, such as mineral wood fibres and microbes, may enter the indoor air due to low airtightness and negative pressure indoors.

The determination of the repair need and extent of a layered brick-wall structure should be based on a comprehensive study with both internal and external structural analyzes. Survey reports should also be unambiguous and clear to minimize the risk of errors in interpretation. Based on the research and theoretical reflections, the study presents a tabular guide for investigation methods. Surveys should include studies of the property information (e.g. structural drawings), observations on site, airtightness assessments, determination of pressure, and different structural studies. Material sampling should be performed from each direction of the cardinal points of the facade, from different parts of the outer wall and from façade parts with and without visible damage/deterioration. Recommendations for repair methods, based on research findings is presented with different extents of repair methods.

Keywords Layered brick-wall, condition assessment, assessment methods, exposure assessment

Esipuhe ja kiitokset

Tämä diplomityö on tehty Helsingin kaupungin toimeksiannosta ja kiitän Helsinkiä mielenkiintoisesta aiheesta sekä työn tukemisesta ja aineiston tarjoamisesta.

Työn ohjaukseen osallistui Vahanen Rakennusfysiikka Oy. Suuret kiitokset kuuluu Sami Niemelle, Katariina Laineelle sekä muille projektiin osallistuneille Vahaslaisille. Kiitän myös Titta Mannista mikrobiasioden avustamisesta ja professori Heidi Salosta työn tarkastamisesta. Erityiskiitos kuuluu kuitenkin Virpi Sandströmille niin loistavasta työn sisällöllisestä ohjauksesta, kuin myös loputtomasta tsemppauksesta.

Kiitän myös perhettäni ja läheisiäni tuesta ja kannustavasta asenteesta koko opiskeluni läpi. Erityiset kiitokset kuuluvat myös Jaakolle kaikesta tuesta ja kannustamisesta sekä opiskelussa, että muussa elämässä, kun oma usko on meinannut loppua. Näin tämäkin projekti saatiin valmiiksi.

Ja lopuksi vielä kiitokset Länsimetrolle hyvästä kilpailusta sekä satavuotiaalle Suomelle.

Espoossa 16.10.2017



Ronja Saarinen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Esipuhe ja kiitokset

Määritelmät ja lyhenteet	1
1 Johdanto.....	3
1.1 Tutkimuksen tausta ja tutkimusongelma.....	3
1.2 Tutkimuksen tavoite ja menetelmät.....	4
1.3 Tutkimuksen rajaukset.....	4
2 Kerroksellinen tiiliulkoseinärakenne Suomessa 1960-1980 sekä suunnitteluun ja tutkimiseen liittyvät määräykset ja ohjeet.....	5
2.1 Kerroksellinen tiiliulkoseinärakenne Suomessa 1960-1980.....	5
2.2 Ulkoseinärakennetta koskevat määräykset ja ohjeet 1960-1980 luvulla verrattuna nykypäivään.....	10
2.3 Mikrobimääritystä käsittelevät määräykset ja ohjeet.....	13
3 Ulkovaipan rakennusfysikaaliset ominaisuudet sekä kosteuden ja epäpuhtauksien aiheuttamat haittavaikutukset	16
3.1 Rakennusfysikaaliset peruskäsitteet	16
3.2 Ilmavuodot rakenteissa	18
3.3 Kosteusdiffuusio.....	20
3.4 Kapillaarinen kosteuden siirtyminen tiilirakenteessa.....	23
3.5 Painovoimainen kosteuden siirtyminen	24
3.6 Ulkoseinämaterialien tasapainokosteudet	25
3.7 Kosteuden ja epäpuhtauksien aiheuttamat haittavaikutukset	26
3.7.1 Kosteusteknisen vikasietoisuuden heikentyminen ulkoseinärakenteessa	26
3.7.2 Rakenteiden mikrobivaurioituminen	31
4 Kerroksellinen tiiliulkoseinärakenteen kuntotutkiminen ja korjausmenetelmät.....	36
4.1 Kuntotutkimuksen eteneminen	36
4.2 Tutkimusmenetelmät	38
4.2.1 Aistinvaraiset tutkimusmenetelmät	38
4.2.2 Pintakosteuskartoitus	38
4.2.3 Rakenneavaukset ja mikrobiologinen näytteenotto.....	38
4.2.4 Ulkovaipan paine-eromittaukset	40
4.2.5 Rakenteiden ilmatiiveyden sekä epäpuhtauksien kulkeutumisen tarkastelu	40
4.2.6 Lämpökuvaus.....	41
4.2.7 Muut tutkimusmenetelmät.....	42
4.3 Korjausmenetelmät	43
4.3.1 Korjaustapojen valintaan vaikuttavat osatekijät	43
4.3.2 Sisäpuoliset korjausmenetelmät	43
4.3.3 Ulkopuoliset korjausmenetelmät	47
4.4 Altistumisolosuhteiden arviointi	49
4.4.1 Altistumisolosuhteen arvioinnin lähtökohdat	49
4.4.2 Altistumisolosuhteiden arviointimenetelmät.....	50
5 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät	57
5.1 Tutkimuskohteet	57
5.2 Tutkimusmenetelmät	58
5.2.1 Ulkoseinärakenteelle tehdyt tutkimukset ja toimenpidesuositukset.....	58

5.2.2	Ulkoseinän näytteenottopaikat ja mikrobianalyysitulokset.....	60
5.2.3	Ulkoseinärakenteen vaikutus altistumisolosuhteen arvioon	61
6	Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu	62
6.1	Ulkoseinärakenteen tutkimukset ja raportointi	62
6.1.1	Ulkoseinärakenteen tutkimusten sisältö.....	62
6.1.2	Toimenpidesuosituksien johdonmukaisuus	65
6.2	Ulkoseinän näytteenottopaikat ja mikrobianalyysitulokset	68
6.2.1	Mikobitutkimuksen näytteenottopaikat	68
6.2.2	Materiaalinäytteiden analyysitulokset.....	72
6.2.3	Ulkoseinärakenteen vaikutus altistumisolosuhteen arvioon	73
7	Johtopäätökset ja suositukset	77
7.1	Tiiliulkoseinärakenteen tutkiminen ja raportointi.....	77
7.2	Tutkimusten ja toimenpidesuosistusten johdonmukaisuus.....	78
7.3	Materiaalinäytteet ja analyysitulokset	79
7.4	Altistumisolosuhteen arviointi	81
7.5	Suosituksien ja jatkotutkimusehdotukset	82
8	Yhteenveto	87
	Lähdeluettelo	89
	Liite 1	96
	Liite 2	101
	Liite 3	117

Määritelmät ja lyhenteet

Adsorptio on kaasumaisen aineen kiinnittyminen kiinteän aineen pintaan ohuen kalvon muodostamalla.

Akkreditoitu, eli valtuutettu, tarkoittaa analyysimenetelmän yhteydessä, että se täyttää standardivaatimukset.

Altistumisolosuhteiden arvio on kokonaisvaltainen rakennus- ja talotekninen sekä sisäilman ladun arvio rakennukseen liittyvistä tekijöistä, joilla voi olla vaikutus altistumisen määrään, laatuun ja keston.

Desorptio on aineen pintaan kiinnittyneiden atomien, molekyylien tai ionien irtoamisprosessi ja adsorption vastakohta. Yhteisnimitys näille kahdelle prosessille on sorptio.

Germinaatio, eli itäminen.

Hygroskooppisuus tarkoittaa huokoisen aineen kykyä sitoa kosteutta itseensä ilmasta ja luovuttaa sitä takaisin ilmaan.

Karbonatisoituminen tarkoittaa betonin reaktiota ilman hiilidioksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia. Tämä aiheuttaa betonin emäksisyyden laskemisen, jolloin betoni ei suojaa enää raudoitusta ruostumiselta. Teräs alkaa laajeta ruostuessaan, jolloin betonirakenteet voivat murtua.

k-arvo, nykyinen U-arvo, on lämmönläpäisykerroin, eli lämpövirran tiheys, joka jatkuvuus-tilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakenteen eri puolilla on yksikön suuruinen. Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa osassa C3 on määritelty lämmönläpäisykerroin.

Kosteuslisä on sisäilman ja ulkoilman kosteuspitoisuuden erotus ja siihen vaikuttaa sisäilmakosteustuotto, ilmavaihdon määrä sekä tuuletetun huoneen tilavuus.

Kosteusvaurio on seuraus liiallisen tai pitkäaikaisen kosteuden aiheuttaman rakenteen tai materiaalin kosteussietokyvyn ylittyminen tai ominaisuuksien muuttuminen.

Mikrobivaurio on tilanne, jossa rakennuksessa tai rakennusmateriaalissa esiintyy haitallisia määrissä esimerkiksi home- ja hiivasieniä, bakteereita tai lahottajia. Vaurioksi katsotaan tilannetta, jossa kasvustoa esiintyy niin paljon tai sellaisessa paikassa, että se heikentää materiaalin teknisiä tai esteettisiä ominaisuuksia tai siitä voi aiheutua hajuja tai terveydelle haitallisia päästöjä sisäilmaan.

Rakennusfysiikka käsittää yleisesti rakennuksen ja rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan sekä joskus myös akustiikkaan ja valaistukseen liittyvät asiat. Tässä työssä rakennusfysiikalla tarkoitetaan rakennuksen ja rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa.

Sisäilma on rakenteiden sisäpuolelle rajautuva ilma, joka koostuu ulkoilman lisäksi tilasta ja sen käyttäjistä ja heidän toiminnoistaan peräisin olevista yhdisteistä.

Sisäilmaongelmalla tarkoitetaan sisäilmaperäisiä terveyteen tai viihtyvyyteen liittyviä haittoja, jotka voivat liittyä esimerkiksi kosteus- tai mikrobivaurioon, vesivahinkoon, rakennusvirheeseen tai rakennusmateriaaleista vapautuviin kemiallisiin päästöihin.

Sisäilmasto kuvaa niiden fysikaalisten ympäristötekijöiden kokonaisuutta, jotka vaikuttavat ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen, kuten ilmastusta, lämpötilaa, kosteutta ja ääntä.

Suhteellinen kosteus ϕ tai RH on ilmassa oleva vesihöyry kyllästyskosteusarvoonsa verrattuna tietyssä lämpötilassa.

Toksiini on mikro-organismien aineenvaihdunnan synnyttämä myrkyllinen aine. Homesienien tuottamaa myrkkyä kutsutaan mykotoksiiniksi.

Vesihöyrynläpäisevyys δ_v tai δ_p on vesimäärä, joka läpäisee ainekerroksen tietyssä ajassa, kun ainekerroksen eri puolilla olevien tilojen välillä on vesihöyrypitoisuuksien ero. Kosteus voi siirtyä muissakin olosuhteissa kuin vesihöyryä, jolloin voidaan puhua materiaalin kosteusläpäisevyydestä.

VOC (Volatile Organic Compound), eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet, ovat kalusteista, puhdistusaineista, kosmetiikasta sekä rakennusmateriaaleista, kuten esimerkiksi puusta, betonista, tasoitteista, liimoista, lattiamateriaaleista, rakennuslevyistä ja maaleista vapautuvia haihtuvia yhdisteitä.

Lyhenteet

KH-kortisto on Rakennustiedon julkaisema tietokortisto, joka sisältää ohjeita kiinteistönpitoon sekä säännöksiä ja tarviketietoa.

KTL Kansanterveyslaitos, nykyään Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

RIL Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

RT-kortisto on Rakennustiedon tietokokoelma ja laatujärjestelmä, joka sisältää mm. ohjeita ja tietoa rakenteista, tilasuunnittelusta ja sopimuksista sekä tiedot säännöksistä ja laatuvaatimuksista.

STM Sosiaali- ja terveysministeriö

THL Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

TTL Työterveyslaitos

VTT Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta ja tutkimusongelma

Rakennuksiin liittyvät sisäilmaongelmat ovat Suomessa melko yleisiä mutta toisaalta ne myös tunnistetaan nykyään aikaisempaa paremmin. Sisäilmaongelmat voivat johtua monista tekijöistä, kuten kosteusvaurioista, rakenteiden riittämättömästä vikasietoisuudesta tai ongelmista ilmanvaihdon ja lämpöolosuhteiden kanssa. Sisäilmaongelmien selvittäminen on monivaiheinen prosessi, joka monesti sisältää monta osapuolta kuntotutkijoista kiinteistön käyttäjiin¹. Ongelmakohtien arvioimiseksi on usein tehtävä kattava kuntotutkimus, joka sisältää sekä rakennusteknisen että taloteknisten järjestelmien tutkimukset sekä sisäilmasto-olosuhteisiin vaikuttavien fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden selvittämisen². Kuntotutkimuksen laatiminen sekä ongelmien ratkaisun löytäminen vaativat näin ollen hyvää kokonaisuuden hahmottamista ja monesti yhteistyötä eri ammattiosaajien välillä.

Tutkittavan kohteen arvioiminen suoritetaan aina kohdekohtaisesti eri tutkimusmenetelmiä käyttäen. Tutkimuksen havaintojen perusteella muodostetaan johtopäätökset, joiden perusteella annetaan toimenpide-ehdotukset. Johtopäätöksiin ja toimenpide-ehdotuksiin vaikuttavat tutkimuksen laajuus, tehdyt toimenpiteet mutta myös tutkijoiden ammattitaito, sillä samoilla havainnoilla voidaan todeta eri johtopäätökset. Lisäksi tutkimustuloksiin ja tutkimus-sisällön painotukseen vaikuttaa myös se, onko tutkimuksen tavoitteena ollut selvittää kattavasti lähtötietoja peruskorjauksen suunnitteluun vai lähinnä vain sisäilmaongelman aiheuttajia ja siten välttävimmät sisäilman parantamiseksi vaadittavat toimet.

Ulkoseinärakenteen tutkiminen liittyy usein sen kosteustekniseen toimintaan sekä ilmatiiveyteen mutta myös rakennetekniseen tarkasteluun. Ulkoseinän toiminnan kannalta tarkasteltavia tekijöitä ovat esimerkiksi ulkovaipan kastuminen viistosateesta, kuivumiskyky sekä sisäpuolinen ilmatiiveys. Kerroksellinen tiiliulkoseinärakenne toteutettiin ennen 1990 – lukua usein ilman seinärakenteen hyvää kuivumista ja tuulettumista mahdollistavaa tuuletusväliä. Näin ollen tämän ajan rakenteilla on heikompi kuivumiskyky, kuin nykyisillä rakennusratkaisuilla. Ehjään tiilijulkisivu kastuu helposti tiilen ominaisuuksista johtuen ja näin myös julkisivumuurausten takainen eristevilla saattaa kastua. Sisäkuoren ilmatiiveys on myös monesti heikko. Pitkittyneet kosteusolot eristevilloissa sekä rakentamisen aikainen puhtaus ja rakenteisiin jätetty rakennusjäte saattaa johtaa mikrobikasvun kehittymiseen, jolloin sisäkuoren epätiiveyskohtien kautta voi ilmavuotojen mukana siirtyä epäpuhtauksia sisäilmaan aiheuttaen sisäilman laadun heikentymistä.

Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kannalta oleellisimpia tutkimusalueita ovat lämpö- ja kosteusteknisen tilan havainnoinnin lisäksi ilmatiiveyden tarkastelut, materiaalinäytteet ja niiden mikrobianalyysit sekä painesuhteiden selvittäminen. Kerroksellisen tiiliulkoseinään liittyvä korjaus voidaan toteuttaa eri menetelmillä sekä eri laajuisesti. Tutkimusselostuksissa esitetyt toimenpidesuosituksot toimivat usein korjauksien hankesuunnitteluvaiheessa taloudellisen tarkastelun lisäksi perustana ulkoseinään kohdistuvan korjausmenetelmän valintaan.

¹ Työterveyslaitos. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen.

² Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 2016, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus.

Näin ollen tutkimuksissa esitettyjen rakenteen toimintaan liittyvien johtopäätöskien ja korjaussuosituksien tulisi perustua johdonmukaisesti tehtyihin havaintoihin. Lähivuosina on toteutettu paljon hyvin raskaita jopa ulkoseinien täydellisiä uusimisia, vaikka selviä perusteita ei ole ollut. Nämä ovat osittain olleet ylikorjaamisia.

Tilaajan kannalta on erityisesti haasteita tutkimusten ja niiden toimenpidesuosituksien perusteella tehtävässä hankesuunnittelussa. Ongelmana on tutkijoiden erilaiset tulkinnat ulkoseinärakenteen vaurioitumisasteesta, laajuudesta sekä tarvittavista korjaustoimenpiteistä. Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen osalta korjausvaihtoehtona on tyypillisesti esimerkiksi ilmatiiveyden parantaminen, eristeiden osittainen vaihtaminen tai jopa raskas eristeiden ja julkisivujen täydellinen uusiminen. Helsingin kaupunki käynnisti diplomityöhankeen koskien erityisesti 1960-1980 – lukujen kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen tutkimusten toimenpidesuosituksien ja valittavien korjaustapojen sekä -laajuuden yhtenäistämiseksi. Näin pystyttäisiin välttämään ylikorjauksilta.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja menetelmät

Diplomityön tavoitteena oli: i) selvittää kerrokselliselle tiiliulkoseinärakenteelle toteutettujen tutkimusten ja toimenpidesuosituksien sekä johtopäätöskien johdonmukaisuuksia, ii) arvioida ulkoseinärakenteen vaikutusta sisäilman laatuun, jolloin huomioidaan esimerkiksi ulkoseinärakenteen eristekerroksessa oleva vaurioaste, sekä iii) luoda tutkimustulosten perusteella Helsingin kaupungille ohjeistus kyseisen ulkoseinärakenteen tutkimuksille, toimenpidesuosituksille ja korjaustavan valintaan.

Diplomityön teoriaosuudessa tarkastellaan rakentamismääräyksiä, lainsäädäntöä, asumisterveysasetuksia ja sen soveltamisohjeita, sisäilmayhdistyksen aineistoa sekä muita sisäilmälähtöisiä tutkimuksia, jotka tukevat työn tutkimusosuutta sekä johtopäätöksiä. Myös rakennusalan yleisiä ohjeita sekä hyvää rakentamistapaa ohjeistavaa kirjallisuutta on hyödynnetty.

Diplomityön tutkimusta varten valittiin 18 Helsingin kaupungin kohdetta, joissa on tehty eri taseisia tutkimuksia kerrokselliselle ulkoseinärakenteelle. Työssä tarkasteltiin Helsingin kaupungin teettämien puitesopimuskonsulttien tutkimusraporttien sisällöllistä eroavuutta. Tutkimusmenetelmien eroavaisuuksia arvioitiin muun muassa seuraavilla selvityksillä: miten ja millä laajuudella ulkoseinärakennetta ja siihen liittyviä rakenneosia on tutkittu; minkälaisia puutteita rakenteesta on todettu; ja minkälaisia johtopäätöksiä sekä toimienpidesuosituksia ulkoseinärakenteelle on toteutettu. Lisäksi ulkoseinärakenteen vaikutusta sisäilmaan tarkasteltiin altistumisolosuhteen arvioinnin perusteella. Työn lähtötietona käytetään Helsingin kaupungin tietokanoja kohteiden kuntotutkimuksista, korjaussuunnittelusta ja huoltokirjoista.

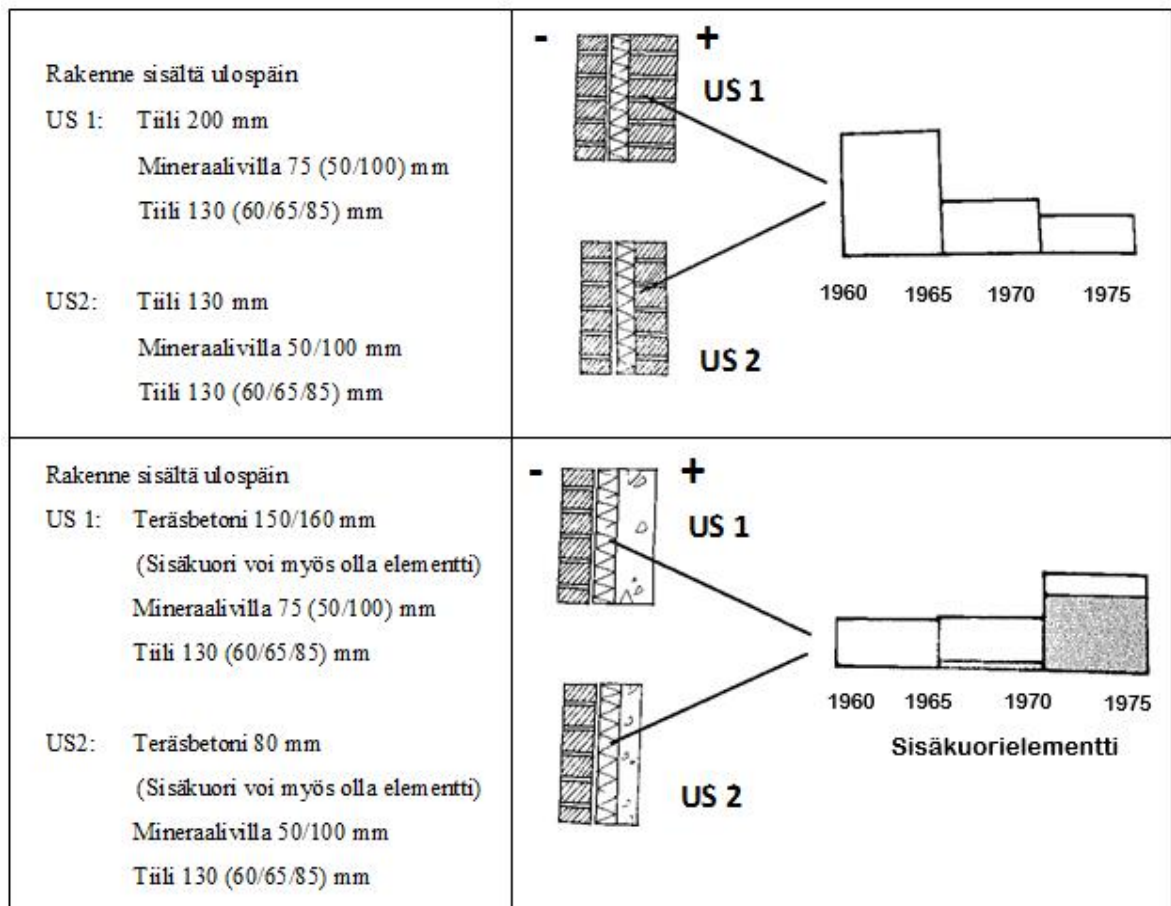
1.3 Tutkimuksen rajaukset

Työ syvenyy tarkastelemaan 1960-, 70- ja 80 – luvun tiili- tai betoni-villa-tiili ulkoseinärakenteisiin tehtyihin tutkimuksiin, johtopäätöksiin ja toimenpidesuosituksiin. Työn ulkopuolelle rajattiin puurungolliset rakenteet sekä osittain kohteissa olevien uudempien ja eri ulkoseinärakenteiden laajennusosien tarkasteleminen. Tutkimusaineistossa on keskitytty tutkimuksiin, jotka käsittelevät ulkoseinärakennetta tai vaikuttavat rakenteen toimintaan. Työn ulkopuolelle on rajattu muiden rakenteiden tai osatekijöiden vaikutus sisäilmaan sekä mikrobianalyyseissä, esiintyvien mikrobilajistojen syvempi analysointi. Altistumisolosuhteen arviointi on rajattu tarkastelemaan pelkän ulkoseinärakenteen vaikutusta sisäilmaan.

2 Kerroksellinen tiiliulkoseinärakenne Suomessa 1960-1980 sekä suunnitteluun ja tutkimiseen liittyvät määräykset ja ohjeet

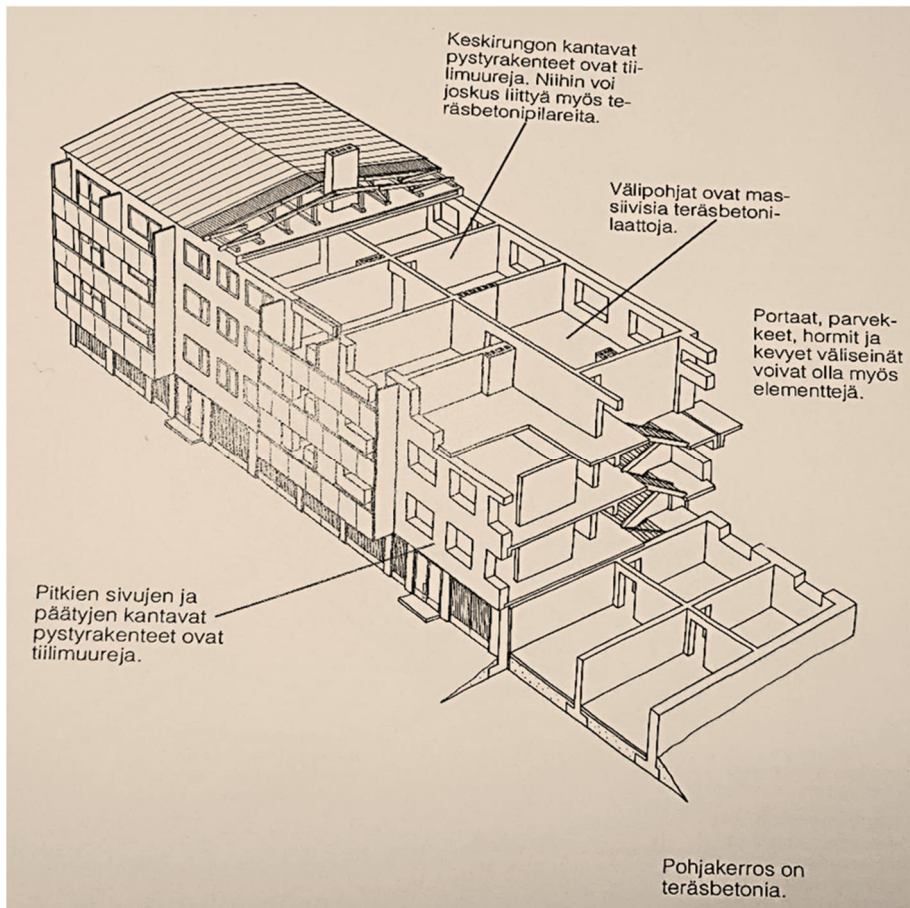
2.1 Kerroksellinen tiiliulkoseinärakenne Suomessa 1960-1980

Tiili-villa-tiili rakenne oli Suomessa yleinen ulkoseinän rakennetyyppi erityisesti 1960-luvulla. Yleinen ratkaisu 1960-1965 oli sisäkuoreltaan kantava tiilimuuri, mineraalivillalämmöneriste sen ulkopuolella ja muurattu tiiliulkokuori, kuten kuvassa 1 on esitetty. Ulkoseinärakenteessa elementtirakenteinen teräsbetoninen sisäkuori yleistyi erityisesti kerrostalojen osalta 60-luvun lopussa yhtä suosituksi kuin kantava tiilirakenne. Kerrostaloissa elementtirakentaminen yleistyi 1960-luvulla ja varsinkin 1970-luvulla. Lopulta betonielementtirakenteen yleistyminen vähensi tiili-villa-tiili rakenteiden määrää erityisesti vuoden 1970 jälkeen, kuten kuvasta 1 voidaan havaita.



Kuva 1. Tyypilliset kerrokselliset tiiliulkoseinärakenteet 1960-1975 – luvulla ja rakennusten pinta-alojen suhteet. Alemmassa rakenteessa on betoninen sisäkuori. Tummennettu osuus esittää elementtien osuuden. Kuvista voidaan havaita, että ulkokuoren ja eristeen välissä on piirustusten mukaan ilmapäli. Tämä kuitenkin jätettiin monesti huomioimatta toteutuksessa tukkimalla se muurauslaastilla ja välin tarkoitus saattanut olla enemmän asennustekninen kuin kosteustekninen.

Tiilimuurirunko on vanha kivisen kerrostalon tyyppi, jonka eri versioita on käytetty jo vuosisatoja sitten. Tiilimuurirunkoa käytettiin edelleen jonkin verran kerrostalorakentamisessa 60- ja 70-luvulla, jolloin muurauksen toteuttamista nopeutti niin sanottujen suurtiilien käyttö. Suurtiilillä tarkoitetaan mitaltaan 75 mm tai 80 mm (korkeus) x 200 mm (leveys) x 270 mm (pituus) tiiliä. Kuvassa 2 on esitetty tyypillinen esimerkki tiilimuurirunkoisesta kerrostalosta. Huomioitavaa on, että vuosina 1960-1975 käytetty julkisivutiili oli leveydeltään 130 mm poltettua savitiiltä tai kalkkiehkekatiiltä, mutta rakennuksissa saatettiin myös käyttää leveydeltään 60 mm, 65 mm ja 85 mm tiiliä. Pääsääntöisesti tiilijulkisivut olivat puhtaaksimuurattuja, mutta 60-luvun alussa käytettiin myös tiilen ulkopintaan levitettävää rapauskerrosta.³



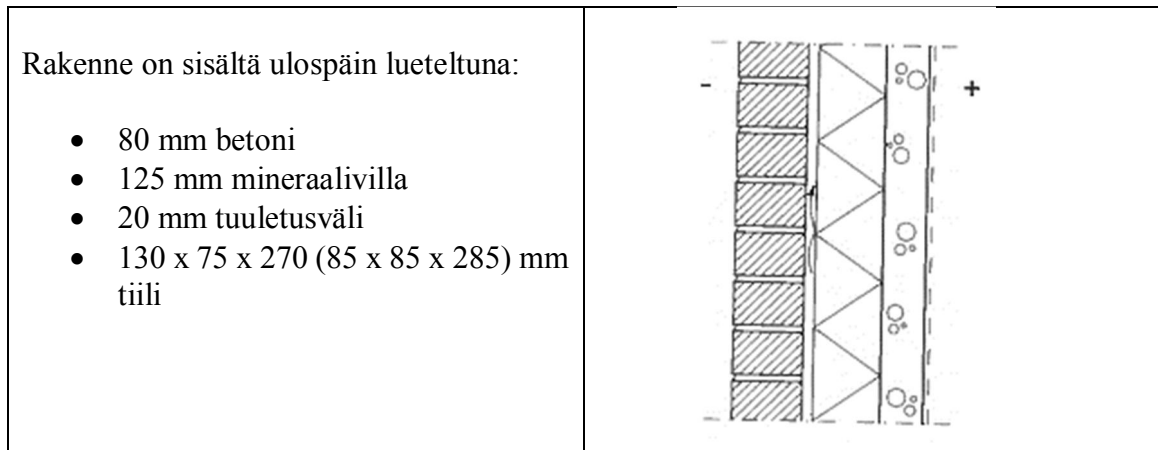
Kuva 2. Tiilimuurirunko kerrostaloissa 1960-1975.³

Vuosina 1960-1975 tavallisin kerrostalorunko oli kuitenkin kirjahyllyrunko, joka rakennettiin paikallatoteutettuna, elementtirakenteisena tai näiden yhdistelmänä osaelementtirakenteisena⁴. Ulkoseinäeristeenä käytettiin mineraalivillaa. Betonisandwich-elementti oli pääsääntöinen rakennetyyppi, mutta paikallarakennettuja tiiliulkoseinäarakenteita toteutettiin edelleen myös 1975-1980 – luvulla. Tiili kohosi 1970-luvun lopulla yleisimmäksi julkisivu-

³ Mäkiö, E. et al. Kerrostalot 1960-1975. s. 54, 56 ja 57.

⁴ Mäkiö, E. et al. Kerrostalot 1960-1975. s. 62.

materiaaliksi. Tiilimuurattuja julkisivuja toteutettiin elementtisisäkuorirakenteen päälle paikalla muurattuna kuvan 3 mukaisesti sekä myös tiililaattapintaisista elementeistä⁵. Ulkoseinärakenteissa on kuvan mukaan muurauksen takana tuuletusväli, mutta 1970-1980 – luvulla ei tämän toteutukseen tai rakenteen muurauksen läpi päässeeseen veden poisjohtamiseen laitettu tarpeeksi painoarvoa.



Kuva 3. Paikallamuurattu ei-kantava ulkokuori ja sisäkuorielementti vuosina 1976-1985. 1985 jälkeen on suunniteltua tuuletusväliä kasvatettu 0-40 mm.⁵

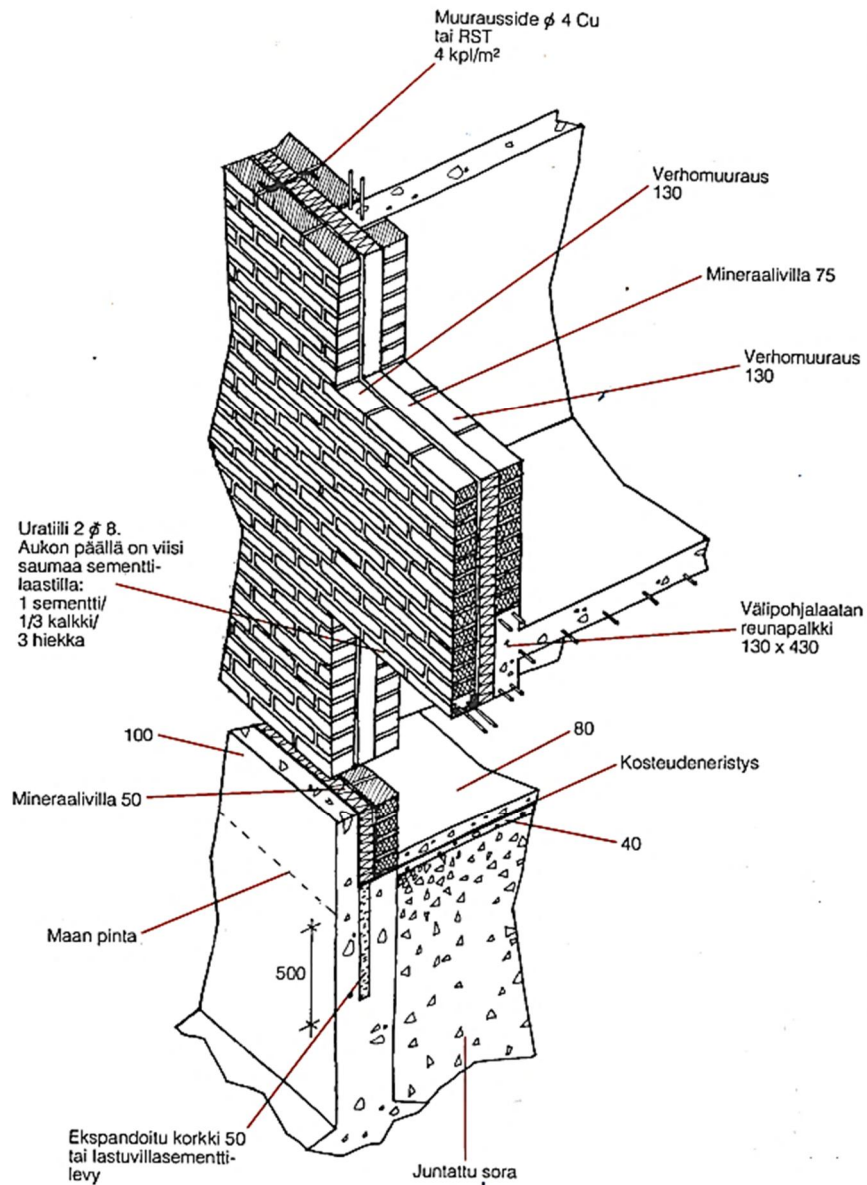
Aikakaudelle tyypillisiä rakenneratkaisuja on sovellettu myös pientalo-, koulu- ja päiväkotirakentamisessa. Tyypillinen runkorakenne esimerkiksi koulurakennuksella oli 1960-luvulla kuitenkin betonipilari-palkkirunko, joka mahdollisti erilaisten rakenneratkaisuiden toteuttamisen⁶. Rakennuksen eri kohdissa saatettiin käyttää eri rakennetyyppejä, mutta rakennuksen päädyissä yleisin rakenneratkaisu oli kuvan 1 mukainen tiili-villa-tiili – rakenne. 1970-luvulla koulurakentamisen muuttui matala ja laajarunkoiseksi rakentamiseksi. Kerrostalojen mukaisesti elementtirakentaminen yleistyi myös koulurakentamisessa. Matala rakenne mahdollisti kevyiden pystyrakenteiden, kuten puun ja teräksen käytön. Betonista tehty kantava pilari-palkkirakenne toteutettiin joko paikalla valettuna tai elementeistä. Tyypillisiä ulkoseinärakenteita olivat puurunkoiset tuulettumattomalla tiiliverhouksella, mutta kuvan 1 kaltaisia ulkoseiniä toteutettiin edelleen.

Rakennusten muurattu ulkokuori sidottiin tyypillisesti muuraussitein sisäkuoreen. Yleinen kerrostalojen alapohjarakenne oli kaksikerroksisena valettu alapohjalaatta siten, että betonilaattojen väliin siveltiin bituminen kosteussively vähentämään rakenteiden maapohjasta nousevaa kosteutta. Koulu- ja pientalorakentamisessa 1960-luvun alkupuolella maanvastaista alapohjaa käytettiin lähinnä kellarikerroksissa ja kantavia alapohjarakenteita tehtiin puumuottien varaan valamalla. 1960-luvun loppupuolella sekä 1970-luvulla maanvastaiset rakenteet yleistyivät menetelmien ja materiaalien kehittyessä ja maanvaraiset, alapuolelta eristetyt betonilaatat sekä kaksoislaattarakenteet yleistyivät⁷. Välipohjat olivat tyypillisesti paikallavalettuja teräsbetonilaattoja tai massiivielementtirakenteisia, mutta 1970-luvulla ontelolaattojen käyttö myös yleistyi. Kuvassa 4 on esitetty paikallarakennetun kerroksellisen ulkoseinärakenteen liitokset maanvastaiseen betonilaattaan sekä välipohjaan.

⁵ Neuvonen, P. Kerrostalot 1975-2000. s. 46-47.

⁶ Suonketo, J. ja Annila, P. Koulurakennus.fi. 1960-luvun koulutalo – rakenteet ja niiden peruskorjaustarve.

⁷ Suonketo, J. ja Annila, P. Koulurakennus.fi. 1970-luvun koulutalo – rakenteet ja niiden peruskorjaustarve.



Kuva 4. Esimerkki kerroksellisen tiiliulkoseinän liitoksesta alapohjaan sekä välipohjaan.⁸

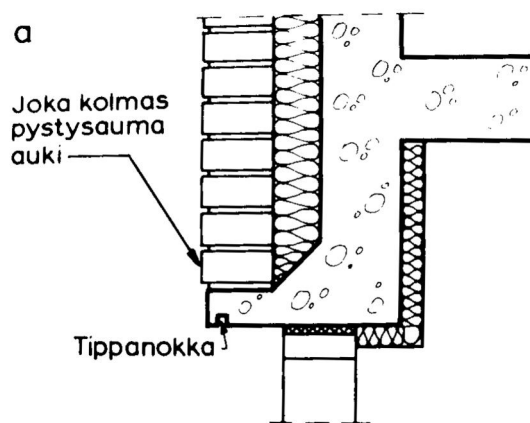
Tyypillisesti 1960-1970 – luvulla rakennuksen sokkelihalkaisussa käytettiin mineraalivillan lisäksi esimerkiksi korkkieristettä tai sementtilastuvillalevyä. Aikakauden pientalojen ja rakennusten, kuten koulujen ja päiväkotien, ulkoseinän alaosien tyypillinen rakenne oli niin sanottu valesokkelirakenne, jossa alapohjarakenne on maantasossa, jolloin ulkoseinän rakenteet ovat ulkopuolisia betonirakenteita alempana. Kuvassa 5 on esitetty ulkoseinän ja sokkelin eristeratkaisuja.

⁸ Mäkiö, E. et al. Kerrostalot 1960-1975. s. 240.



Kuva 5. 1950 – luvun koulurakennuksen nurkkakohdasta, jossa sisäkuorena oleva kalkk-hiekkatiilimuuraus ja seinäeristeenä oleva mineraalivilla on purettu. Sokkelin 50 mm paksu korkieriste on esitetty punaisella nuolella. Kuva: Sandström, V. Vahanen Rakennusfysiikka Oy

Kerrostalarakentamisessa vesikattoraketeissa oli suurta kirjoa 1960-1980 – luvulla. 1960-luvulla noin puolet olivat harjakattoja, mutta pulpettikattoja sekä erilaisia yhdistelmiä esiintyi myös. Koulurakennuksissa loiva harjakatto hallitsi yläpohjaratkaisuissa 1960-luvulla⁹. 1970-luvulla yleisimmäksi yläpohjaratkaisuksi tuli betoni- ja puurunkoiset tasakatot. Tasakattorakenne oli yleinen ennen 1980-lukua myös kerrostalarakentamisessa, mutta 1980-luvulla alettiin myös jälleen rakentaa pienemmän mittakaavan rakennuksia pulpetti ja harjakatoilla vastareaktionä betonilaatikkoarkkitehtuuriin¹⁰. Aikakauden rakennuksissa räystäspellit ovat usein suhteessa niukkoja, eikä erillistä myrskypeltiä ole monesti käytetty¹¹. Paikallamuuratuissa tiilijulkisivuissa ikkunan yläpuolinen rakenne toteutettiin yleisesti leukapalkilla esimerkiksi kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 6. Ikkunan yläpuolisen leukapalkin ratkaisu.¹²

⁹ Suonketo, J. ja Annila, P. Koulurakennus.fi. 1960-luvun koulutalo – rakenteet ja niiden peruskorjaustarve.

¹⁰ Neuvonen, P. Kerrostalot 1975-2000. s. 15.

¹¹ Askainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s. 215.

¹² RIL 117-1979. Lämmön- ja kosteudeneristys. s. 274.

2.2 Ulkoseinärakennetta koskevat määräykset ja ohjeet 1960-1980 luvulla verrattuna nykypäivään

Rakentamiseen liittyviä ohjeistuksia tarkennetaan ja muutetaan aika-ajoin, kun tieto hyvistä rakentamistavoista muuttuu ja ymmärrys esimerkiksi rakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta kasvaa. Onkin hyvä huomioda, että tässä työssä käsitelty tiili- tai betoni-villa-tiili rakenne ei vastaa nykyisten ohjeistusten mukaista rakennetta, mutta 1960-, 1970- ja 1980-luvulla rakenne oli sen aikaisen ohjeistusten mukainen. Rakentamista on jo vuosikymmenien aikana ohjattu viranomaismääräyksillä sekä niitä täydentävillä rakennusalan järjestöjen antamilla standardeilla, normeilla ja ohjeilla. Määräykset täsmentävät laissa ja asetuksessa asetettuja vaatimuksia rakentamiselle ja ovat siten myös velvoittavia. Säännösten virallisuuden ja epävirallisuuden ero 1960- ja 1970-luvun alkupuolella oli lähinnä niiden syntyprosessissa, eikä niinkään sitovuudessa¹³. Rakennusalan teknisten määräysten ja ohjeiden siirtäminen sisäasiainministeriölle tapahtui 1970-luvulla, kun 12.11.1975 annettiin päätös Suomen rakentamismääräyskokoelman voimaan saattamisesta silloisen rakennusasetuksen (266/59) nojalla. Toisaalta määräykset ovat pääosin toiminnallisia, joten toteutusta varten tarvitaan ohjeita, joiden katsotaan kuvaavan hyvää rakentamistapaa.

Taulukko 1. Määräykset ja ohjeet tiiliulkoseinärakenteelle vuosina 1960-1980.

Koodi	Nimi	Vuosi
Suomen asetuksenkokoelma (251/32)	Valtakunnalliset kuormitusnormit - Sisäministeriön päätös eräistä huonerakenteista	1932
	Rakennusasetus (266/1959) ja rakennuslaki (370/58)	1959
SRMK C2	Kosteus	1975
SRMK C4	Lämmöneristys	1978
SRMK C3	Rakennuksen lämmöneristys	1985
SRMK D2	Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto	1987
SRMK B8	Tiilirakenteet, ohjeet	1989
RIL 33	Poltetuista tiilistä muurattujen rakenteiden normit	1958
RIL 85	Standardi Muuratut rakenteet, tiilikivistä ja kalkkihiekkakivistä. (SFS 2803)	1972
RIL 107	Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet	1976, 1981, 1989
RIL 117	Lämmön- ja kosteudeneristys	1979
RIL 155	Lämmön- ja kosteudeneristys	1984
RT 823.12	Tiilimuuraus, mitoitus (tiili 27 x 13 x 7,5 cm)	1947
RT 823.162	Tiiliseinän liittyminen välipohjaan, yläpohjaan ja vesikattoon	1965
RT 823.101	Seinätyyppejä, tiili-, asuinrakennusten	1965
RT 086.40	Rakennuksien lämmöneristys, seinien k-arvot.	1976

¹³ Mäkiö, E. et al. Kerrostalot 1960-1975. s. 240.

Taulukossa 1 on esitetty 1960-1980 aikana voimassa olleet määräykset ja ohjeet. Ensimmäiset viranomaismääräykset tiilirakenteille on vuodelta 1932 sisäasiainministeriön päätöksessä eräistä huonerakenteista, joka sisälsi luokat kolmelle tiilelle ja kahdelle laastille sekä näiden sallitut puristusjännitykset eri hoikkuuksille¹⁴. Rakenteiden lämmön- ja kosteudeneristystä on myös säädetty rakentamismääräyksillä. Ensimmäinen veden- ja kosteuden eristys määräys C2 on vuodelta 1975. Ulkoseinän osalta siinä määrätään, että rakenteeseen tunkeutuva sade- tai sulamisvesi, maaperänkosteus tai sisäilman vesihöyry ei saa aiheuttaa haitallisia vaikutuksia rakenteelle tai sen liitososille. Lämmöneristävyydelle ohje C4 julkaistiin 1978 ja vuonna 1985 astui voimaan määräykset C3. C4 sisälsi eri rakennusmateriaalien lämmönjohtavuudet ja laskuohjeet lämmönläpäisevyydelle ja C3 määräykset eri rakennusosien enimmäislämmönläpäisevyyteen. Ulkoseinälle k-arvo (nykyinen U-arvo) on asetettu olevan 0,28 W/m²K.

Ulkoseinärakenteen toimivuuteen liittyy myös sisäilmasto-olot ja ilmanvaihdon toiminta. Ensimmäinen rakentamismääräyskokoelman ohje D2, jossa on rakennusten sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon liittyvät määräykset ja ohjeet, on vuodelta 1987. Tällä hetkellä voimassa oleva on vuodelta 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelman ohje B8 tiilirakenteille¹⁵ astui voimaan 1. heinäkuuta 1989. Muurattuja rakenteita käsitteleviä rakentamismääräyksiä oli ainoastaan vuodelta 1977 ohjeet kantavien ja osastoivien rakenteiden palonkestävyydelle. RakMk B8 käsittelee lähtökohtaisesti tiilirakenteisiin liittyviä varmuuksia ja kuormituksesta annettuja määräyksiä. Rakentamismääräyksessä esitetään myös vaatimuksia ulkoseinän kosteus- ja lämpötekniselletoiminnalle kuten, että sadevesi ei saa päästä haitallisesti tunkeutumaan seinään tai seinän läpi. Ulkoisen kuorimuurin vähimmäispaksuudeksi on asetettu 85 mm.

Vuonna 1947 tiilirakenteelle julkaistiin Suomen Arkkitehtiliiton jälleenrakennustoimiston toimesta RT-kortti Tiilimuuraus¹⁶. Kyseinen ohje käsittelee limitystä ja tiilijakoa ja varoittaa tiilien koonvaihtelun sekä suunnittelun puutteen aiheuttaman pystysaumojen paksuuden vaihtelun huonontavan rakenteen kuormituskestävyyttä ja lämmöneristävyttä. Vuonna 1959 uusi rakennuslaki astui voimaan ja aikaisemmin asetetut määräykset katsottiin kumoutuneeksi. Samalla Rakennusinsinööriyhdistyksen vuonna 1958 julkaisema RIL33 (Polte-
tuista tiilistä muurattujen rakenteiden normit) nousi keskeiseen asemaan¹⁷. Vuonna 1965 julkaistiin ohje¹⁸ tiiliseinän liittymisestä välipohjaan, yläpohjaan ja vesikattoon. Ohje on hyvin suurpiirteinen ja sisältää vain muutaman liitosdetaljin, eikä esimerkiksi ilmatiiveydestä tai tuuletuksesta ole mainintaa. Kuva 7 on esimerkki ohjeen välipohjan ja ulkoseinän liitosdetaljista. Välipohja valetaan suoraan sisäkuoren kantavan tiilikerroksen päälle.

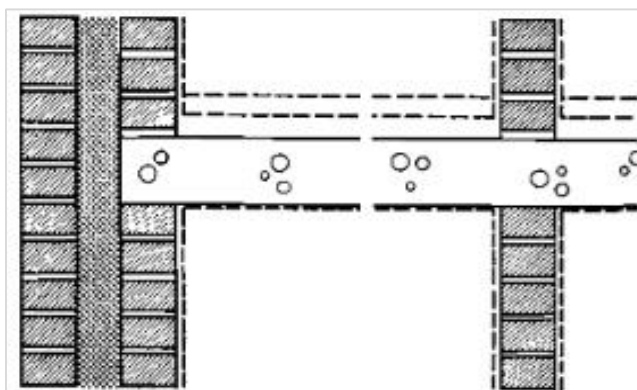
¹⁴ Mäkiö, E. et al. Kerrostalot 1960-1975. s. 240.

¹⁵ RakMk B8 Tiilirakenteet.

¹⁶ RT 823.12. Tiilimuuraus, mitoitus (tiili 27 x 13 x 7,5 cm).

¹⁷ Mäkiö, E. et al. Kerrostalot 1960-1975. s. 241.

¹⁸ RT 823.162. Tiiliseinän liittyminen välipohjaan, yläpohjaan ja vesikattoon.



Kuva 7. Esimerkki ulkoseinän ja välipohjan liitosdetalji vuodelta 1965.¹⁹

Vuodelta 1965 on myös RT-kortti²⁰, joka käsittelee eri ulkoseinärakennetyyppejä. Kyseisessä kortissa on malleja eri paksuisille kantaville ja ei-kantaville tiili-eriste-tiili ulkoseinärakenteille sekä niiden suurpiirteiset lämmönläpäisykertoimet. Eristekerroksena käytettiin tyypillisesti mineraalivillaa. Kuvassa 8 on esitetty esimerkkirakenne kerrostalojen kantavasta voimakkaasti kuormitetusta ulkoseinästä. Kyseisestä rakennetusta ei rakentamisajankohdalle tyypillisesti ole toteutettu tuuletusvälillä tai -raoilla, eikä ole lisätty ilman- tai höyryn-sulkua. Vuonna 1972 annettiin standardi muuratuille rakenteille kalkkiahiekk- ja tiilikivistä RIL 85, joka oli ensimmäinen standardimuotoon viety RIL:n normi ja korvasi 1958 julkaistun RIL 33: n. RIL 85 sisälsi muurattujen rakenteiden ohjeen, tiili- ja kalkkiahiekkakiviohjeen, muurauslaastiohjeen sekä lisäselvityssuuden joka ei kuulunut varsinaiseen standardiin. Sallittuja jännityksiä täydennettiin ja talvimuurausohje, moduulikorkuiset muurauski- vet sekä laadunvalvonta ja koestus tulivat uusina kohtina. Rakenteiden lämmönläpäisevyys kertoimia eli k-arvoja on esitetty RT-kortissa²¹ RT 086.40 vuodelta 1976. Kyseisestä kortista löytyy k-arvotaulukko erityyppisille kerroksellisille tiiliulkoseinärakenteille eri eristepak- suuksille määriteltynä.

<p>Rakenne on sisältä ulospäin lueteltuna:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 200 mm tiilimuuri ja rappaus • 50-125 mm eriste • 130 mm puhtaaksi muurattu tiili <p>k-arvo eristeestä ja tiililaadusta riippuen 0,5-0,25 kcal/m²·h·°C</p>	
--	--

Kuva 8. Esimerkki kerroksellisesta tiiliulkoseinärakenteesta, käyttökohteena kerrostalojen kantavat ulkoseinät.²¹

¹⁹ RT 823.162. Tiiliseinän liittyminen välipohjaan, yläpohjaan ja vesikattoon.

²⁰ RT 823.101. Seinätyyppejä, tiili-, asuinrakennusten.

²¹ RT 086.40. Rakennuksien lämmöneristys, seinien k-arvot.

Vuonna 1976 julkaistussa RIL 107 on ohjeet rakennuksen veden- ja kosteuseristykselle. Ohjeessa esitetty ulkoseinärakenteelle, että sadeveden tunkeutumista on estettävä ja ettei lämpimältä puolelta siirtyvä kosteus tiivisty haitallisessa määrin²². Rakenteeksi on ehdotettu selkeää, jossa vesihöyrynvastus pienenee vesihöyryn paineen alenemisen suuntaan ja että mahdollisesti tiivistyvä kosteus johdettaisiin pois. Muita ehdotuksia rakenteelle on, että se voi varastoida mahdollisesti tiivistyvää kosteutta vaurioitumatta. Liittyvät rakenteet on ohjeistettu toteutettavaksi niin, että niistä ei pääse tunkeutumaan kosteutta. Vuonna 1981 julkaistiin päivitetty versio RIL 107-1981, jossa oli erillinen kappale muuratulle ulkoseinälle. Siinä ohjeistetaan muun muassa, että kapillaarinen vedennousu on estettävä, ulkokuoren minimipaksuus on 85 mm läpisateen ehkäisemiseksi ja että käytettävät materiaalit on oltava pakkasen kestäviä²³. Tuuletusväliä ja höyrynsulkua suositellaan silloin, kun sisäilman kosteus on normaalia suurempi.

Vuodelta 1979 on julkaisu RIL 117 lämmön- ja kosteudeneristys. Tiiliseinälle on tässä ohjeistettu, että muuraussiteiden on oltava haponkestäviä ja että lämmöneristeen tulee olla kimmoisaa, jotta se täyttäisi sille varatun tilan. Esimerkkinä tähän on kimmoisa mineraalivilla. Ulkomuurauksen ja mineraalivillan väliin oli kuitenkin suositeltavaa jättää väli, jotta lämmöneriste ei pullistaisi tuoretta julkisivumuurausta vinoon. Rakenteen on ajateltu toimivan niin, että sisäpuolinen kosteus siirtyy ulkokuoren sisäpintaan asti, josta se haihtuu ulkokuoresta pois. Julkaisussa mainitaan, että paine-eron siirtämän kosteuden määrä on edelleen epäselvä ja että saattaa olla, että tiili-villa-tiili rakenne ei näissä tilanteissa toimi kosteusteknisesti oikein²⁴. Eristetilaan joutuva vesi ohjeistetaan johdettavaksi ulos huopakaistaleella ja että joka kolmas huovan yläpuolella oleva pystysauma tulisi jättää auki²⁵. Liitosrakenteiden kosteuden ohjausta on myös ohjeistettu ja kuvassa 6 on esitetty ikkunan yläpuoleisen leukapalkin detaljia. Vuonna 1984 julkaistiin RIL 155, joka oli korjattu ja täydennetty versio RIL 117-1979 käsikirjasta. Muuratuille rakenteille ei tullut huomattavia muutoksia. RIL käsikirjoissa ohjeistetaan myös, että raot, liittyminen muihin rakenteisiin, kuten yläpohjaan tai ikkunoihin ja tuuletusväli tulee suunnitella niin, että vesi ei pääse kulkeutumaan niistä haitallisissa määrin rakenteisiin. Nykyaikaiset ohjeistukset²⁶ tiiliselle ulkoseinärakenteelle edellyttävät 30 mm leveän tuuletusvälin sekä voimakkaalle viistosateelle altistuvalla ulkoseinällä 40 mm tuuletusvälin. On myös varmistettava, että laastipurseet eivät tuki takana olevaa tuuletusväliä.

2.3 Mikrobimäärittystä käsittelevät määräykset ja ohjeet

Vuonna 1994 astui voimaan Terveysturvallisuuslaki (763/1994), jossa asetetaan, että asunnossa tai oleskelutilassa ei saa esiintyä mikrobeja siinä määrin, että niistä voi aiheutua terveyshaittaa tilassa olevalle²⁷. Lisäksi tulee toimenpiteisiin ryhtyvä viipymättä haitan ja siihen johtaneiden tekijöiden selvittämiseksi, poistamiseksi tai rajoittamiseksi. Ensimmäisiä ohjeita mikrobien materiaalinäytteiden analysoimisesta ja viitearvoista annettiin Sosiaali- ja

²² RIL 107-1976. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. s. 28.

²³ RIL 107-1981. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. s. 33.

²⁴ RIL 117-1979. Lämmön- ja kosteudeneristys. s. 269.

²⁵ RIL 117-1979. Lämmön- ja kosteudeneristys. s. 274.

²⁶ RIL 107-2012. Rakenteiden veden- ja kosteuseristysohjeet. s. 77-80

²⁷ Terveysturvallisuuslaki (763/1994)

terveysministeriön (STM) toimesta 1996²⁸ sekä 1997²⁹. Muurattujen rakenteiden ja tiilijulkisivujen ohjeistuksien lisäksi myös mikrobitutkimuksien tulkintaohjeita on päivitetty viimevuosien aikana. Siten, on mahdollista, että vanhojen ohjeiden perusteella tulkittu mikrobikasvu tulkittaisiin eri tavoin tänä päivänä. Vuoden 2003 Asumisterveysohjeessa³⁰ rakennusmateriaalinäytteiden kasvua osoittava raja oli aktinomykeeteille 500 pmy/g, eli alhaisempi kuin vuonna 2016 julkaistun Asumisterveysohjeen korvaavan Asumisterveysasetuksen 545/2015³¹ ja sen soveltamisohjeen³² mukainen raja, joka on 3000 pmy/g. Sieni- ja bakteerikasvuston rajat ovat säilyneet samana, jolloin kasvua osoittava sienipitoisuuden raja on 10 000 pmy/g ja bakteerikasvulle 100 000 pmy/g. Asumisterveysoppaassa 2009 mainitaan lisäksi että, maaperään tai ulkoilmaan yhteydessä olevissa ulkoseinän eristemateriaaleissa voi esiintyä mikrobeja suurina määrinä eikä tämä yleensä viittaa kosteusvaurion aiheuttamaan mikrobikasvuun eikä terveyshaittaan, jos ilmayhteyttä sisätilaan ei ole³³. Asumisterveysasteuksessa 2015 tämä on kuvailtu toimenpiderajan ylittymisellä³². Toimenpiderajalla tarkoitetaan pitoisuutta, mittaustulosta tai ominaisuutta, jolloin on ryhdyttävä terveydensuojelulain mukaisiin toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi sekä tarvittaessa poistamiseksi tai rajoittamiseksi³⁴.

Asumisterveysasetuksen (545/2015) 20. § toisessa momentissa säädetään, että mikrobikasvu todetaan ensisijaisesti rakennusmateriaalista kasvatukseen perustuvalla laimennossarja- tai suoraviljelymenetelmällä³⁵. Näytteiden kasvattamisen jälkeen mikrobipesäkkeet lasketaan ja tunnistetaan mikroskopoimalla. Mikrobinäyte otetaan aina muun rakennusteknisen tarkastelun ohessa, ei irrallisena toimenpiteenä. Näytteenotto kohdat tulee valita tutkimuksen tavoitteiden ja epäillyn vaurion perusteella. Lisäksi on myös suositeltavaa ottaa vertailunäyte, joka otetaan saman rakenteen vaurioitumattomaksi tiedetystä kohdasta. Taulukossa 2 on listattu laimennossarjamenetelmän raja-arvoja joiden yläpuolella olevat pitoisuudet viittaavat mikrobikasvuston esiintymiseen. On kuitenkin hyvä huomioida, että vaikka pitoisuudet jäävät alle raja-arvojen, voivat löydökset viitata mikrobikasvustoon. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016 kasvustoon viittaavia tekijöitä ovat esimerkiksi home- ja kosteusvaurioidindikaattorit, sienten kokonaispitoisuus on 5000-10000pmy/g tai sienisuvusto on myös epätavallisen yksipuoleinen (1-2 lajia/sukua)³². Asumisterveysohjeessa 2003 raja-arvon alittuessa, on kehoitettu tarkastamaan lajistoa tai mikäli on otettu vertailunäyte, katsotaan vaurionäytteessä olevan kasvustoa, mikäli sen sieni-itiöpitoisuus on 100 kertaa suurempi³⁶. Mikrobinäytteenottoa on käsitelty tarkemmin luvussa 4.2.3.

²⁸ STM. Terveydenhuoltolain nojalla annetut sisäilmaa koskevat ohjeet. Mikrobiologiset olosuhteet.

²⁹ STM. Sisäilmaohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät.

³⁰ STM. Asumisterveysohje 2003: asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. s. 76.

³¹ Sosiaali- ja terveysministeriön asetus (545/2015) asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.

³² Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016. Osa IV. s. 8.

³³ STM. Asumisterveysoppas 2009

³⁴ Sosiaali- ja terveysministeriön asetus, SMT (545/2015), 2 §.

³⁵ Sosiaali- ja terveysministeriön asetus, (SMT 545/2015), 20 §.

³⁶ STM. Asumisterveysohje 2003: asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. s. 80.

Taulukko 2. Laimennossarjamenetelmän (kvantitatiivinen) mikrobikasvun raja-arvot materiaalinäytteelle.^{37, 38}

Mikrobityyppi	Pitoisuus
Home- ja hiivasieni	yli 10 000 pmy/g, (2016)
Bakteerit	yli 100 000 pmy/g, (2016)
Sädesienet	ennen yli 500 pmy/g, (2003) nykyään 3 000 pmy/g, (2016)

Laimennossarjaviljelyn lisäksi voidaan rakennusmateriaalinäytteen analysointi tehdä suoraviljelymenetelmällä. Suoraviljelymenetelmässä tulokset ilmoitetaan semikvantitatiivisella asteikolla taulukon 3 mukaisesti. Nykyään kasvatustutkimuksen tulosta varmistavana menetelmänä käytetään näytteen suoramikroskopiointia esimerkiksi teippinäytteestä silloin kun näytteen tulos on alle määritysrajan tai havaitaan vain yksittäisiä pesäkkeitä

Taulukko 3. Rakennusmateriaalien tulosten tulkinta semikvantitatiivisella suoraviljelymenetelmällä. +++ ja ++++ viittaavat kasvustoon. Mikäli kyseessä on kosteusindikaattorilaji, saattaa myös + ja ++ viitata mikrobikasvustoon.³⁸

-	Ei mikrobeja
+	1-19 pesäkettä, niukasti mikrobeja
++	20-49 pesäkettä, kohtalaisesti mikrobeja
+++	50-199 pesäkettä, runsaasti mikrobeja
++++	≥200 pesäkettä, erittäin runsaasti mikrobeja

Materiaalinäytteiden mikrobiviitteiden analysoinnista on tullut yleinen osa kerroksellisen ulkoseinärakenteen kunnon arviointia sen kosteus- ja lämpötekniikan toimivuuden lisäksi. Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen osalta selvittämällä ulkoseinäeristeen mahdollinen mikrobikasvu voidaan mahdollisia sisäilman terveyshaittoja sekä rakenteen vaurioastetta arvioida.

³⁷ STM. Asumisterveysohje 2003: asuntojen ja muiden oleskelutilojen fyysiset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. s. 76.

³⁸ Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016, Osa IV. s. 8-9.

3 Ulkovaipan rakennusfysikaaliset ominaisuudet sekä kosteuden ja epäpuhtauksien aiheuttamat haittavaikutukset

3.1 Rakennusfysikaaliset peruskäsitteet

Rakenteisiin kohdistuu monia lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan liittyviä tekijöitä, joiden vaikutuksia tulee huomioida paitsi rakenteiden suunnittelussa myös tutkimusten yhteydessä tehtävässä teknisessä tarkastelussa. Rakennusfysiikan osa-alueen voidaan käsittää sisältävän usein myös akustiikkaan sekä tapauskohtaisesti myös valaistukseen liittyviä asioita, mutta tässä työssä käsitellään vain rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Rakennusfysiikan merkitys on rakenteen toiminnan kannalta suuri, sillä suuri osa rakenteissa havaituista vioista ja vaurioista liittyvät rakenteiden lämmön- ja kosteudensiirtymismekanismeihin.

Lämpö on atomien ja molekyylien värähtelyliikettä. Lämmön siirtymiselle on kolme tapaa: johtuminen (konduktio), säteily (emissio) ja virtaus (konvektio). Konduktiossa molekyylien liike siirtyy molekyylistä toiseen ja liike pyrkii tasoittumaan eli lämpö virtaa lämpimästä kylmempään. Säteilyssä lämpö siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä ja konvektiossa puolestaan paine-erojen synnyttämien ilmavirtojen mukana. Lämmön tarkastelulla on merkitystä esimerkiksi, kun tarkastellaan rakenteen mahdollisia kosteudentiivistymispaikkoja.

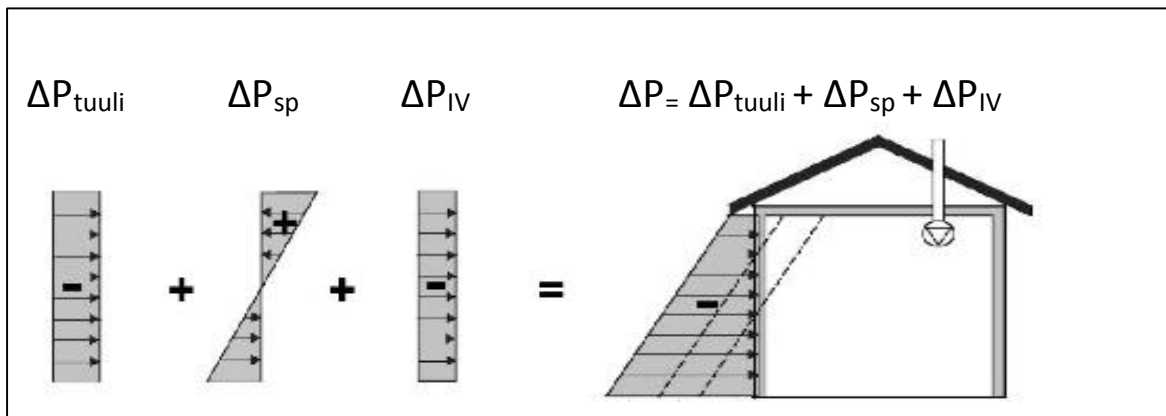
Kosteudella tarkoitetaan kemiallisesti sitoutumatonta tai sitoutunutta vettä kiinteässä (jäätyneenä), nestemäisessä tai kaasumaisessa (vesihöyry) olomuodossa. Kosteus voi myös olla fysikaalisesti sitoutunutta. Kosteus voi olla näkyvää vettä, näkymätöntä vesihöyryä tai rakenteisiin sitoutunutta rakennekosteutta. Kosteutta esiintyy aina jonkin verran ympäröivässä ilmassa ja huokoisissa materiaaleissa ja sen määrä riippuen aineen ominaisuuksista sekä ympäröivän ilman kosteudesta ja lämpötilasta. Ilmaan sitoutunut kosteus voidaan ilmaista suhteellisenä kosteutena (%), vesihöyryn osapaineena (Pa) tai vesihöyrymääränä (kg/m^3 tai kg/kg). Ilma on useiden kaasujen seos, joka tarkastelua helpottamiseksi oletetaan laskumalleissa olevan ideaalikaasu ja noudattavan ideaalikaasun tilanyhtälöä,

$$pV = nRT, \quad (1)$$

missä

P	paine [Pa]
V	tilavuus [m^3]
n	ainemäärä [mol]
R	moolien kaasuvakio
T	lämpötila [K].

Ulkovaipan kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan vaikuttaa myös rakennuksessa esiintyvät ilmanpaineet ja niiden vaihtelu. Painevaihtelua esiintyy sekä ulkovaipan yli, että tilojen välillä. Painesuhteet syntyvät tuulen, ilmanvaihdon tai ilmalämpötilaerojen vaikutuksesta tai näiden yhteisvaikutuksesta. Tuuli muodostuu eri alueiden ulkoilman lämpötilaerojen aiheuttamista paine-eroista, kun ilmavirta korkeammasta painealueesta matalampaan. Rakennuksiin tuuli aiheuttaa tuulenpuoleiselle sivulla sisäpuolelle alipainetta ja vastakkaiselle seinällä sisälle ylipainetta. Painevaikutuksen suuruus riippuu tuulen suunnasta, voimakkuudesta sekä rakennuksen korkeudesta, muodosta, ympäröivästä maastosta ja toisista rakennuksista. Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin riippuu ilmanvaihtojärjestelmästä ja sen kunnosta sekä säädoista. Lämpötilan vaikutus painesuhteisiin on sitä huomattavampi mitä suurempi ulko- ja sisäilman lämpötilaero on. Sisäilman lämmitessä sen tiheys pienenee ja nousee näin ollen ylöspäin. Huoneen yläosaan muodostuu siten ylipainetta. Tätä ilmiötä kutsutaan savupiippuvaikutukseksi. Kuvassa 9 on esitetty paine-erojen yhteisvaikutus³⁹.



Kuva 9. Koneellisen ilmanvaihdon omaavan rakennuksen painesuhteiden yhteisvaikutus. Kokonaispaine-ero saadaan laskemalla eri paine-erot yhteen.

Rakentamismääräyksen RakMk D2 2012 mukaan on rakennuksen painesuhteet oltava sellaiset, että ne eivät aiheuta rakenteisiin pitkäaikaista kosteusrasitusta⁴⁰. Tämän vuoksi ilmanvaihto säädetään useimmiten hieman alipaineiseksi siten, että se vie enemmän ilmaa ulos kuin tuo sisälle, mutta kuitenkin mahdollisimman lähelle tasapainoa. Savupiippuvaikutuksen aiheuttaman paine-eron seurauksena rakennusten ylimmät kerrokset saattavat silti olla ylipaineisia erityisesti talvella⁴¹. Tämä saattaa pitkän päälle aiheuttaa vauriota rakenteissa, jos höyrynsulku tai liitokset eivät ole tiiviitä. Asumisterveysasetuksen 8§ mukaan hetkellinen ympäristötekijöiden aiheuttama ylipaine ei aiheuta korjaustoimenpiteitä⁴². Jos kuitenkin ylipaineisuus on pitkäaikaista, tulee ylipaineen syy selvittää ja ilmanvaihto tasapainottaa. Myös yli 15 Pa alipaineen syy tulee selvittää ja mahdollisuuksien mukaan tasapainottaa. Ilmanvaihdon tulee myös olla riittävä tilaan nähden. Riittämätön ilmanvaihto ei poista sisäilman kosteutta tai epäpuhtauksia riittävästi. Näin saattaa syntyä korkea sisäilmaan kosteuslisä, jolloin rakenteisiin kohdistuva kosteuskuorma nousee tai korkea hiilidioksiditaso, jolloin sisäilman laatu kärsii. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpiderajaksi on säädetty pitoisuus, joka on 1 150 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus.

³⁹ Vinha, J. Luentomateriaali Kuopion Rakennusterveysasiantuntijakoulutuksesta. 11.12.2009.

⁴⁰ RakMk D2. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. s. 19

⁴¹ RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurion estäminen. s. 84.

⁴² Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa I. s. 16, 18.

3.2 Ilmavuodot rakenteissa

Rakenteessa ja rakenteen yli vaikuttavat ilmanpaine-erot aiheuttavat ilmavirtauksia, eli konvektiota, jotka voivat kuljettaa kosteutta mukanaan sisäilmasta rakenteeseen. Tällöin ilmiötä kutsutaan kosteuskonvektioksi. Konvektion ilmavirrat siirtyvät joko rakenteiden epäjatkuvuuskohtien, kuten ulkoseinärakenteessa olevien halkeamien, tai huokoisen materiaalin läpi⁴³. Savupiippuvaikutuksen, ilmanvaihdon ja lämmityksen sekä tuulen aiheuttaman paine-eron synnyttämää ilmavirtaa kutsutaan pakotetuksi konvektioksi. Pakotetut konvektion esiintyminen edellyttää paine-eron lisäksi epäjatkuvuuskohtia, josta ilma pääsee virtaamaan. Luonnolliseksi konvektioksi kutsutaan ilman tiheyseroista syntyvää pystysuoraa ilmavirtausta, jota esiintyy kerroksellisissa pystyrakenteissa, kuten seinissä ja ikkunoissa.⁴⁴

Kosteuskonvektion vaikutuksesta kosteus siirtyy ilman mukana korkeammasta paineesta matalampaan. Rakenteita ajatellen on oleellista huomioda ilmavirran suunta lämpötilaerojen suhteen. Lämpimästä kylmään virtaava ilma jäähtyy, mikä voi puolestaan johtaa kosteustason nousuun ja kondenssiin. Kondenssiriski on huomattava, jos sisäilmaan on muodostunut korkea kosteuslisä ja sisä- ja ulkoilman lämpötilaerot ovat suuria. Kylmästä lämpimään virtaava ilma lämpenee, jolloin ilma voi sitoa enemmän kosteutta millä on puolestaan kuivattava vaikutus. Konvektiolla on myös rakenteiden lämmöneristyskykyä heikentävä vaikutus, joka johtuu luonnollisesta konvektiosta rakenteen sisällä⁴⁵. Seinärakenteessa ylöspäin virtaava ilma kuljettaa mukanaan kosteutta, mikä johtaa kosteuspaineen kohoamiseen rakenteen yläosassa. Alaspäin virtaava viilentynyt ilma puolestaan laskee seinän alaosan lämpötilaa lisäten siellä kondenssikosteusvaaraa. Konvektio heikentää käytännössä kuitenkin vain vähän huokoisen lämmöneristeen lämmöneristyskykyä^{44, 46}.

Ulkoseinärakenteessa, jossa on huono ilmatiiveys, voi ilmavirtausten kuljettamat kosteusmäärät olla huomattavia. Raon läpi virtaavan kosteusvirran määrittämiseksi on tunnettava ilmamäärä [m^3/s] sekä ilman vesihöyrypitoisuus [kg/m^3], jolloin kosteusvirta voidaan laskea seuraavasti,

$$G = v \cdot R \quad (2)$$

missä

G	kosteusvirta [kg/s]
v	vesihöyrypitoisuus [kg/m^3]
R	ilmamäärä [m^3/s].

Ulkoseinärakenteeseen jäävän kosteuden määrä kosteuskonvektion vaikutuksesta voidaan laskea kaavalla 3,

$$G = (v_s - v_u) \cdot R, \quad (3)$$

jossa

v_s	sisään virtaavan ilman vesihöyrypitoisuus [kg/m^3]
v_u	ulosvirtaavan ilman vesihöyrypitoisuus [kg/m^3].

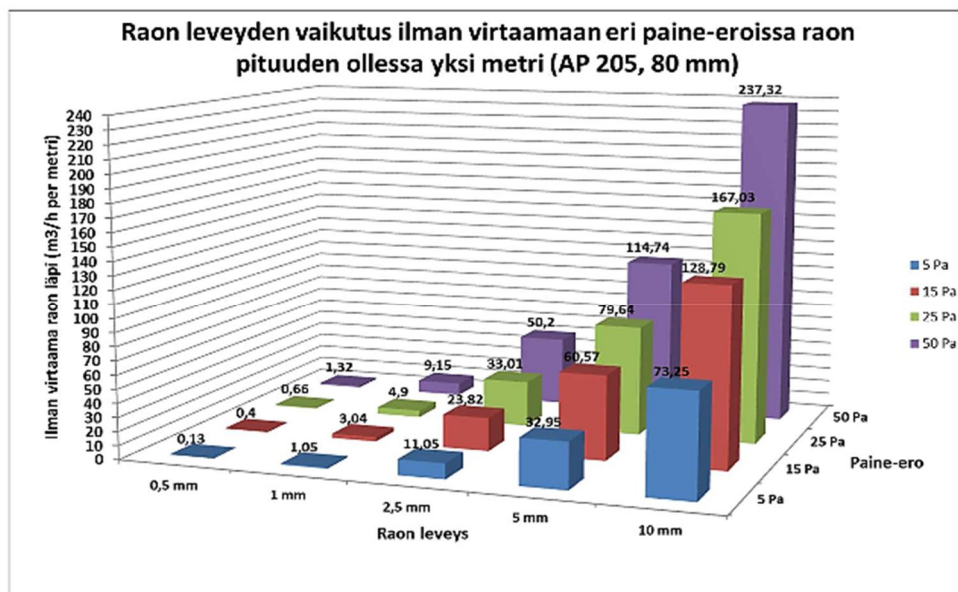
⁴³ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s. 33.

⁴⁴ Siikanen, U. Rakennusfysiikka. s. 31.

⁴⁵ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s. 33.

⁴⁶ Nevander, L-E. & Elmarsson, B. Fukthandbok: Praktik och teori. s.265.

Rakennuksen ilmapuodot sekä ilmanvaihdon toiminta vaikuttavat rakennuksen vuotoil-mamääriin. Monesti ilmanvaihdon säädöt synnyttävät rakennukseen voimakkaita alipainei-sia tiloja, jolloin ilma virtaa konvektiolla rakenteista sisäilmaan. Rakenteissa, joissa on huono ilmatiiveys, voi konvektion vaikutuksesta kulkeutuva kosteus määrä olla paikallisesti monin kertainen verrattuna diffuusiolla kulkeutuvaan määrään⁴⁷. Diffuusiota käsitellään lu-vussa 3.3. Ilmaraon pinta-alalla on myös vaikutusta raon läpi virtaavan ilman määrän. Paine-eron ja raon leveyden muutokset ilman virtaamaan raon läpi on esitetty kuvassa 10. Ilman tilavuusvirta raon läpi kasvaa samassa suhteessa raon pinta-alaan nähden. Paine-eron ja raon leveyden kasvaessa ilman virtaamat kasvavat huomattavasti. Huokoisten materiaalien läpi voi myös virrata ilmaa, mutta ulkoseinärakenteen materiaalissa tapahtuva konvektio on kui-tenkin merkityksellömän pieni verrattuna rakojen ja reikien läpi tapahtuvaan konvektioon sekä diffuusion⁴⁸.



Kuva 10. Rakenteessa AP 205 olevan raon leveyden vaikutus ilman virtaamaan eri paine-eroissa, kun rakenteen sisäpinnan suuntainen rakopituus on 1 m.⁴⁹

Konvektion mukana voi kosteuden lisäksi kulkeutua myös epäpuhtauksia, kuten mikrobeja ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-yhdisteitä). Epäpuhtauksien kulkeutuminen sisätiloihin saattaa heikentää sisäilman laatua. Mikrobien koon on havaittu vaikuttavan niiden kykyyn liikkua ilmavirtausten mukana ja erilaisten rakojen läpi. Maailman terveysjärjestö (WHO) on koonnut yhteenvedon eri tutkimuksista, joissa partikkeleiden läpäisyä rakojen läpi on tutkittu⁵⁰. Esimerkiksi 4 Pa paine-erossa on havaittu, että valtaosa 0.1-1 µm kokoi-sista partikkeleista läpäisee 1 mm raon⁵¹. Raon leveyden pienentyessä 0.25 mm läpäisykyky vähenee merkittävästi. Alipaineisen sisäilman vaikutusta mikrobien kulkeutumiseen tutkit-

⁴⁷ RIL 155-1984. Lämmön- ja kosteuseristys. s. 116.

⁴⁸ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s. 33.

⁴⁹ Repo, J. Betonirakenteiden ilmatiivyyden hallinta sisäilma korjauksissa. s. 39.

⁵⁰ WHO. Dampness and mould. WHO Guidelines for Indoor Air Quality. s. 55.

⁵¹ D-L. Liu, W. W. Nazaroff, Modeling pollutant penetration across building envelopes. s. 8.

tiin myös diplomityössä, jossa osoitettiin, että alipaineisen sisäilman näytteet eroavat normaalipainetilan näytteisiin verrattuna⁵². Alipaineisuus näytti lisäävän mikrobilajistojen määrää sisäilmassa. Toisaalta on myös arvioitu, että mikäli raon leveys on alle 1 mm, alkaa mikrobien läpäisykerroin laskea huomattavasti⁵³. Mikrobi-itiöt ovat tavallisimmin hiukkaskooltaan 1-10 μm ⁵⁴.

Rakennuksen ilmatiiviyden suhde vuotoilmamääriin ei myöskään ole yksinkertainen. Rakennuksessa, jossa on heikko ilmatiiveys, voivat ilmapirtaukset olla ilmamääriltään pieniä yksittäisistä sisäkuoren epätiiveyskohdista, kuten rakenneliittymistä, raoista ja halkeamista. Näin ollen voi olla mahdollista, että rakenteesta sisäilmaan kulkeutuvat epäpuhtauspitoisuudet jäävät laimeaksi tai lähestulkoon olemattomiksi. Samoissa painesuhteissa saattaa taas tiiviiseen rakennukseen syntyä yksittäisestä vuotokohdasta sisäilman laatua merkittävästi heikentävä konvektiovirtaus, koska ilmanvaihdon vaatima vuotoilmamäärä kasvattaa yksittäisen epätiiveyskohdan kautta siirtyvää ilmamäärää. Sisäilmaolosuhteisiin voidaan siis merkittävästi vaikuttaa riittävän ilmatiivyyden lisäksi myös hallitusti toteutetulla ilmanvaihdon tasapainotuksella.⁵³

3.3 Kosteusdiffuusio

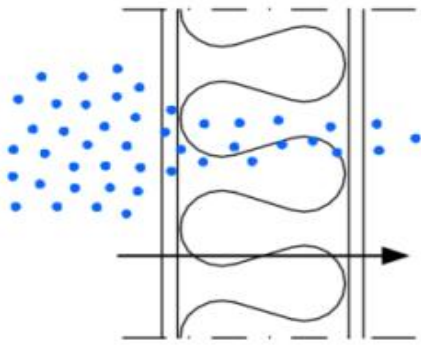
Kaasuseoksessa molekyylit pyrkivät aina tasaantumaan pitoisuus- tai paine-erojen vuoksi, jolloin molekyyliden liikettä kutsutaan diffuusioksi. Diffuusion virtaus voi olla joko yksi- tai kaksisuuntaista. Kaksisuuntaisessa diffuusiassa kahden kaasun tilavuuden ja lämpötilan ollessa samat kaasujen molekyylimäärät tulee yleisen kaasun tilanyhtälön (Avogadron laki) mukaan olla yhtä suuret. Tällöin kahden kaasun molekyyliden liikettä tapahtuu molempiin suuntiin, kunnes kaasut ovat tasapainossa keskenään. Rakenteissa kosteuteen liittyvää diffuusiota tapahtuu pääsääntöisesti yksisuuntaisesti, jolloin kosteus siirtyy suuremmasta vesihöyrynpitoisuudesta [kg/m^3] tai vesihöyrynsapaineesta [Pa] pienempään. Kuvassa 11 on esitetty yksisuuntaisen diffuusion periaate.

Rakennuksissa on yleensä korkeampi sisäilman vesihöyrypitoisuus, jolloin diffuusiosta syntyvä kosteusvirta on sisältäpäin rakennuksen vaipan yli ulospäin. On myös tilanteita, jossa diffuusion suunta saattaa olla rakenteesta sisäilmaanpäin. Esimerkiksi kesällä sisä- ja ulkoilman väliset olosuhteet saattavat olla päinvastaiset, jolloin diffuusiovirtauksen suunta on sisäänpäin.

⁵² Päckilä, T. Mikrobien kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. s. 138.

⁵³ Repo, J. Betonirakenteiden ilmatiivyyden hallinta sisäilma korjauksissa. s. 53-55.

⁵⁴ Meklin, T. et al. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot –opas selvittämiseen. s. 14.



Kuva 11. Vesihöyryn diffuusion periaate, jossa pallojen määrä kuvastaa vesimolekyylien määrää ja diffuusion suunta on osoitettu nuolella.⁵⁵

Rakenteissa diffuusiovirran suuruuteen vaikuttaa läpäistävän ainekerroksen ominaisuudet. Ainekerroksen läpi siirtyvä kosteus määrä g [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$] voidaan määrittää Fickin lain avulla kavalla 4 tai 5, joko vesihöyrypitoisuuden tai vesihöyryn osapaineen avulla,

$$g = -\delta_v \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x} \quad (4)$$

jossa

δ_v vesihöyryläpäisevyys [m^2/s]
 Δv kosteusero matkalla x [kg/m^3]
 Δx diffuusiomatka [m]

tai

$$g = -\delta_p \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (5)$$

jossa

δ_p vesihöyryläpäisevyys [kg/mPa]
 Δp vesihöyryn osapaineen ero matkalla x [kg/m^3]
 Δx diffuusiomatka [m].⁵⁶

Vesihöyryläpäisevyysien yhteys voidaan ratkaista yleisen kaasuyhtälön avulla, jolloin saadaan yhtälö,

$$\delta_v = \frac{R}{M_v} \cdot T \cdot \delta_p = 461,4 \cdot T \cdot \delta_p, \quad (6)$$

jossa

T lämpötila [K].⁵⁷

⁵⁵ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 113.

⁵⁶ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s. 33.

⁵⁷ Nevander, L-E. & Elmarsson, B. Fuktteori: Praktik och teori. s.260

Kun rakenne koostuu useista homogeenisistä ainekerroksista, voidaan rakenteen läpi kulkevan kosteusvirran tiheys laskea sisä- ja ulkoilman sekä rakenteen yksittäisten kerrosten vesihöyryvastusten suhteen. Kosteusvirran tiheys sisältä ulospäin voidaan laskea joko vesihöyryn pitoisuuksien avulla seuraavasti,

$$g = \frac{v_s - v_u}{\Sigma Z_v} \quad (7)$$

tai vesihöyrypitoisuuksien osapaine-erojen avulla seuraavalla kaavalla,

$$g = \frac{p_s - p_u}{\Sigma Z_p}, \quad (8)$$

missä

v_s ja v_u	vesihöyrypitoisuudet sisä- ja ulkoilmassa [kg/m^3]
p_s ja p_u	vesihöyryn osapaineet sisä- ja ulkoilmassa [Pa]
Z_v	vesihöyrynvastus [s/m]
Z_p	vesihöyrynvastus [$\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$]

Vesihöyrynvastus määritellään yksittäiselle materiaalikerrokselle

$$Z_v = \frac{L}{\delta_v} \quad \text{tai} \quad Z_p = \frac{L}{\delta_p}, \quad (9)$$

jossa

L materiaalin paksuus [m].⁵⁸

Taulukossa 4 on esitetty tässä luvussa käsiteltyjen materiaalien vesihöyryläpäisevyydet δ_v . Tiili on huokoinen materiaali, jossa kosteus siirtyy diffuusion avulla helposti rakenteen läpi. Muuratusta tiilirakenteesta kosteuden läpäisyyn vaikuttaa myös huomattavasti käytetty muurauslaasti. Betonin kosteustekniset ominaisuudet määräytyvät pääasiassa huokosrakenneesta, johon vaikuttaa mm. vesisementtisuhde, hydratoitumisaste, ilmamäärä sekä runkoaineen hienous. Huokosrakenne puolestaan vaikuttaa betonin tiiviyyteen. Tiili-villa-tiili ja betoni-villa-tiili rakenteessa lämmöneristeenä on tyypillisesti käytetty mineraalivillaa. Mineraalivillan vesihöyrynläpäisevyys on hyvin suuri muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna. Vesihöyry voi kulkeutua mineraalivillakerroksen läpi ilmavirtojen ja diffuusion avulla tiivistymättä.

*Taulukko 4. Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen materiaalien vesihöyrynläpäisevyydet.*⁵⁹

Materiaali	Vesihöyrynläpäisevyys δ_v [m^2/s]
Mineraalivilla	$20-30 \cdot 10^{-6}$
Poltettu tiili	$2-6 \cdot 10^{-6}$
Kalkkiehkektiili	$0,6-1,3 \cdot 10^{-6}$
Betoni	$0,1-0,5 \cdot 10^{-6}$
Muurauslaastit	$0,7-1,7 \cdot 10^{-6}$

⁵⁸ Nevander, L-E. & Elmarsson, B. Fuktteknik: Praktik och teori. s. 263

⁵⁹ RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1: Rakennusfysiikallinen suunnittelu ja tutkimukset. s. 261, 275-279.

3.4 Kapillaarinen kosteuden siirtyminen tiilirakenteessa

Kapillaarisuudella tarkoitetaan yleisesti materiaalin kosteudenimukykyä vapaasta vedenpinnasta huokosalipaineen vaikutuksesta⁶⁰. Rakennuksissa tästä koituu kosteusrasitusta mm. niihin rakenteisiin, jotka ovat kosketuksissa pohjaveteen tai joihin kohdistuu voimakasta viistosadetta. Tiiliulkoseinässä huokoiset tiilet ja saumalaastit kuljettavat vettä esimerkiksi kapillaarisen imun ja ilmavirtauksien vaikutuksesta suuriakin määriä ulkoseinärakenteeseen. Huomioitavaa on, että ohuilla ulkokuoren paksuuksilla sadevesi tunkeutuu rankkasateen aikana ja erityisesti rannikkoseuduilla jopa verhomuurauksen läpi⁶¹. Lisäksi maaperässä oleva vesi pyrkii nousemaan pohjavedenpinnan yläpuolelle maalajin karkeusasteen mahdollistaman kapillaarisen vedennousukorkeuden mukaisesti. Näin maapohjasta kapillaarisesti siirtyvän veden aiheuttamat kosteusvauriot ovat yleisiä maahan kosketuksissa olevissa rakenteissa, kuten perustuksissa ja sokkeleissa⁶². Liittymärakenteiden kautta kosteus voi kuitenkin siirtyä kapillaarisesti myös ulkoseinärakenteisiin, mikäli rakenteiden välillä ei ole käytetty kapillaarisuutta katkaisevaa materiaalia, kuten bitumikermiä.

Materiaalissa olevan veden pinnan ja kapillaarihuokosen seinämän vuorovaikutuksesta syntyvä kapillaarinen veden imeytyminen sekä sitoutuminen aineeseen riippuu huokoskoon ja määrän sekä huokosverkoston yhtenäisyydestä. Esimerkiksi huokoskoon ollessa suuri kapillaarinen imu on heikompaa ja nousukorkeus vähäisempi pieneen huokoskoon verrattuna. Kapillaariseinämän ja veden välisen voimien pyrkiessä kostuttamaan materiaalia ylöspäin, veden pintajännitys aiheuttaa kapillaarissa olevan nestepatsaan koveran pinnan muodostumiseen. Tällöin materiaalien rajapintaan syntyvää alipaine, eli huokosalipaine p [N/m^2] voidaan määrittellä seuraavasti,

$$p = \frac{2\sigma}{r} \cdot \cos\theta, \quad (10)$$

jossa

σ	pintajännitys [N/m]
r	huokosen säde
θ	reunakulmakulma ⁶³ .

Vesimäärä, joka tietyn ajan kuluessa imeytyy vapaasta vedenpinnasta aineeseen, voidaan määrittellä yhtälöllä

$$W = A_w \sqrt{t}, \quad (12)$$

missä

W	kappaleeseen kapillaarisesti imeytynyt vesimäärä pinta-alaa kohti [kg/m^2]
A_w	kapillaarisuuskerroin [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$] ja t aika [s].

Yhtälöstä 12 nähdään, että veden imeytymisnopeus on suurimmillaan aluksi ja hidastuu ajan edetessä, sillä kapillaarisesti imeytynyt vesimäärä on verrannollinen ajan neliöjuureen. Materiaalin kosteuspitoisuus nousee, kunnes kapillaarinen kyllästyskosteus w_{kap} on saavutettu.

⁶⁰ Vinha, J. et. al. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja kosteuden funktiona. s. 87.

⁶¹ Björkholtz, D. Lämpö ja kosteus rakennusfysiikka. s. 104.

⁶² YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 167.

⁶³ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s. 34-35.

Kyllästyskosteus voidaan määrittää kappaleen imemän vesimäärän suhteessa alkuperäiseen osamäärään.⁶⁴ Veden imeytymisnopeus g [$\text{kg/m}^2\text{s}$] saadaan seuraavasta yhtälöstä⁶⁵,

$$g = \frac{A}{2\sqrt{t}}. \quad (13)$$

Huokosalipaineen aiheuttaman kosteudensiirtymisen suunta on aina matalasta huokosalipaineesta korkeampaan. Veden siirtymiseen tarvitaan aina ero huokosalipaineessa. Lisäksi huokosten on muodostettava yhtenäinen verkosto⁶⁶. Yhtälöstä 10 nähdään, että pienet huokokset, eli kun r on pieni, antaa suuren imuvoiman. Mutta virtausvastus kasvaa nopeammin kuin imuvoima, eli toisin sanoen voidaan todeta, että jos huokokset ovat pienet on imu suuri mutta virtaus hidasta. Suuret huokokset puolestaan johtaa nopeaan virtaukseen, mutta pieneen imuun.⁶⁷

3.5 Painovoimainen kosteuden siirtyminen

Rakennuksien pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla sekä vierusmaan pinnalla vesi kulkeutuu alaspäin painovoiman vaikutuksesta. Painovoimainen kosteuden siirtyminen materiaalissa on hallitseva siirtymismuoto kapillaarisesti heikosti vettä imevissä aineissa kuten karkeassa sorassa⁶⁸. Ei-kapillaaristen materiaalien rajapinnoilla vesi pyrkii valumaan alaspäin. Huokoisissa ja rakeisissa kapillaarisesti vettä imevissä materiaaleissa painovoimainen veden siirtymien on itse kosteuden kokonaissiirtymisessä verrattain pieni. Näitä materiaaleja ovat esimerkiksi tiili, betoni ja savi. Vaikka muuratulle julkisivulle tuleva vesi siirtyy lähtökohtaisesti tiileen kapillaarisesti, voi seinän imukyky kuitenkin tiettyssä pisteessä ylittyä, jolloin osa vedestä alkaa virrata julkisivua pitkin⁶³. Vesirasituksen jatkuessa, alkaa kuorimuurin taakse vuotamaan vettä epätiiveyskohdista. Kuorimuurin taakse pääsy vesi, joka ei ole imeytynyt tiileen, valuu painovoimaisesti ulkokuoren sisäpintaa pitkin.

Kerroksellisten tiiliulkoseinärakenteiden monesti epätiiviit liitosrakenteet ovat riskialttiit ja esimerkiksi sadevettä saattaa myös kertyä helposti vaakarakenteiden päälle, josta se voi siirtyä rakenteisiin epätiiveyskohdista. Toimimattomat salaojitusjärjestelmät saattavat myös kastella sokkeleita ja sitä kautta myös ulkoseinärakenteita. Kosteusvaurioiden riski painovoimaisesta kosteuden siirtymisestä on suuri, sillä vesivuodoista kosteutta voi siirtyä rakenteisiin huomattava määrä. Painovoimaista kosteuden siirtymistä voidaan hyödyntää veden hallitusti pois johtamiseen rakenteiden ulko- ja sisäpinnoilta sekä reunoilta. Näin voidaan myös kuivattaa rakenteita salaojituksella. Veden poisjohtamiseen ulkoseinärakenteesta tulee kiinnittää huomiota seinärakenteen ja sen liitosten suunnittelussa. Esimerkiksi ikkunoiden vesipeltien kaadot on oltava riittävät ja peltiin sekä leukapalkkiin ja muihin ulokkeisiin tulisi suunnitella tippanokka, joka ohjaa vedet loitommas ulkoseinästä.

⁶⁴ Vinha, J. et. al. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja kosteuden funktiona. s. 88.

⁶⁵ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s. 36 ja 68.

⁶⁶ Nevander, L-E. & Elmarsson, B. Fukthandbok: Praktik och teori. s. 269.

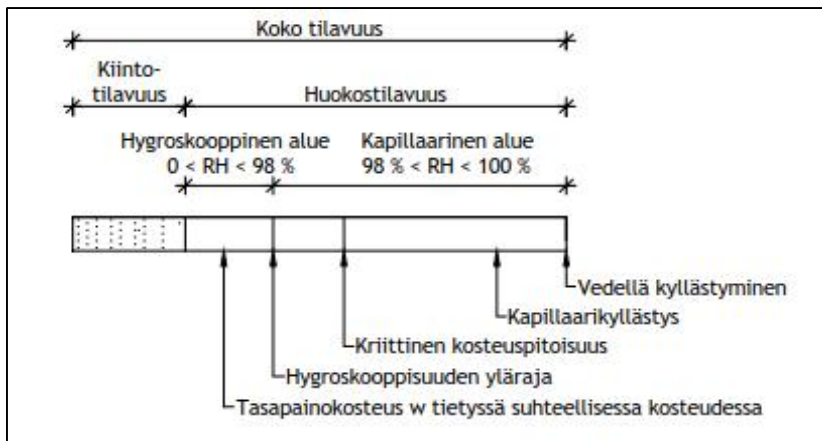
⁶⁷ Nevander, L-E. & Elmarsson, B. Fukthandbok: Praktik och teori. s. 254.

⁶⁸ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 112-113.

3.6 Ulkoseinäateriaalien tasapainokosteudet

Materiaalin tasapainokosteudella tarkoitetaan kosteutta, jonka aine saavuttaa ympäristön kosteusrasitusolosuhteissa ja lämpötilassa. Huokoisiin sitoutuvan kosteuden määrä riippuu siitä, onko aine kosketuksissa kostean ilman vai veden pinnan kanssa.

Aineen kykyä sitoa kosteutta ilmasta sekä luovuttaa kosteutta ilmaan kutsutaan hygroskooppisuudeksi. Hygroskooppisella tasapainokosteudella tarkoitetaan kosteusmäärää, jonka aine sitoo itseensä ilmasta tietyssä lämpötilassa ja kosteudessa. Samalla tavalla on kapillaarinen tasapainokosteus vedenpinnasta kappaleeseen imeytyvän kosteuden määrä tietyssä lämpötilassa ja kosteudessa. Kuvassa 12 on esitetty materiaalin kostumisen eri vaiheet.



Kuva 12. Materiaalin kosteuden sitoutuminen hygroskooppisuuden ja kapillaarisuuden vaikutuksesta.⁶⁹

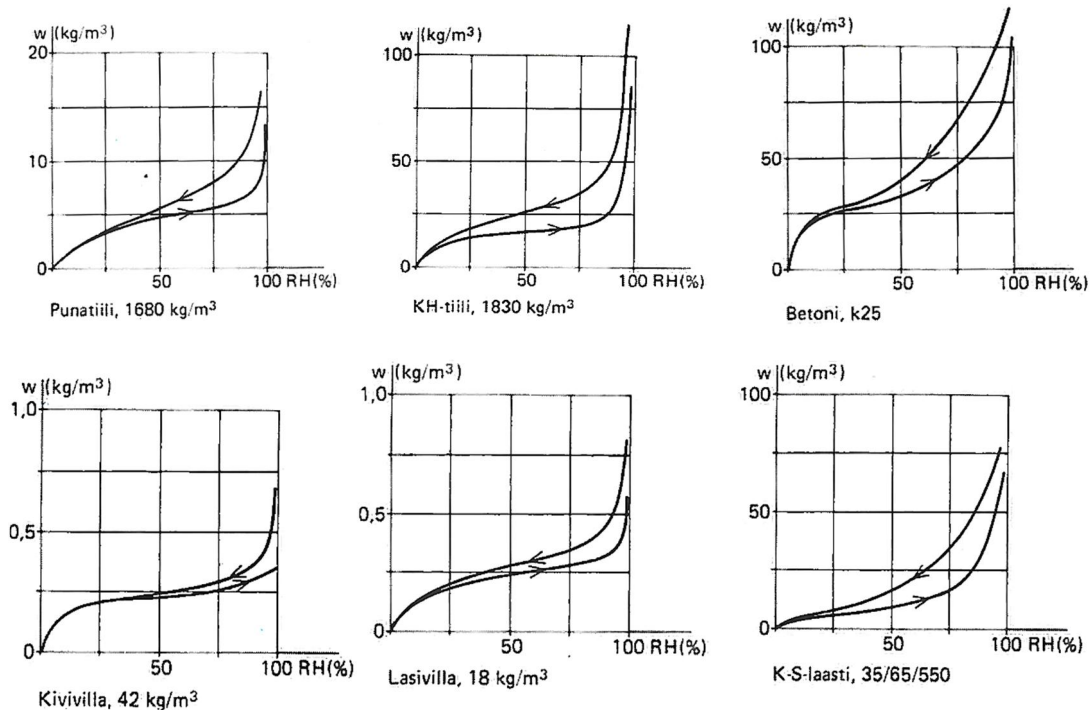
Kerroksellisessa tiiliulkoseinärakenteessa on pääasiassa käytetty kahta tiilityyppiä, poltettua sekä kalkkiahiekkatiiltä. Poltetun tiilen huokosrakenne on yleisesti sellainen, että kapillaarilla alueella olevien huokosten määrä on suuri. Tästä seuraa suuri vedenimunopeus ja kosteudenjohtavuus. Poltetun tiilen vedenimunopeus vaihtelee välillä 0,4-6 kg/m²min. Vedenimukyky riippuu polttolämpötilasta ja raaka-aineesta ollen välillä 6-22 paino-%. Kalkkiahiekkatiilen kapillaarinen kosteudenjohtavuus on pieni verrattuna poltetuun tiileen. Toisaalta kapillaarinen imuvoima on suurempi mutta imunopeus pienempi kuin poltetulla tiilellä. Kalkkiahiekkatiilellä vedenimunopeus on yleensä alle 1,5 kg/m²min ja vedenimukyky noin 10-16 paino-%. Kuivumisnopeus on poltetulla tiilellä huomattavasti nopeampi kuin kalkkiahiekkatiilellä.⁷⁰

Materiaalien hygroskooppisia tasapainokosteuksia voidaan esittää sorptiokäyrillä, jossa nähdään aineen kosteuspitoisuus [kg/m³] eri ilman suhteellisissa kosteuksissa [%]. Ympäristön olosuhteiden lisäksi, hygroskooppinen tasapainokosteus riippuu siitä, onko kyseessä kostuminen vai kuivuminen. Kuvassa 13 on esitetty tiiliulkoseinärakenteessa käytettyjen materiaalien sorptiokäyrät. Poltetun tiilen hygroskooppinen tasapainokosteus on matala johtuen tiilen pienestä huokospinta-alasata⁷⁰. Täyskivillä se on väliltä 0,2-1,0 paino-% ja reikäkivillä 0,8-1,5 paino-%. Kalkkiahiekkatiilen hygroskooppinen tasapainokosteus on puolestaan kor-

⁶⁹ Vinha, J. et. al. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja kosteuden funktiona. s. 44.

⁷⁰ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s 54-55.

kea, jopa 10 paino-%. Betonin pieni huokoskoko johtaa siihen, että sillä on korkea hygroskooppinen tasapainokosteus. Mineraalivillalla, kuten muilla lämmöneristeillä, hygroskooppinen tasapainokosteus on hyvin matala, pienempää kuin 0,05 tilavuusprosenttia. Aineilla, joilla on matala hygroskooppisuus, on kosteuden vaihtelun vaikutus lämmönjohtavuuteen olematon hygroskooppisella alueella⁷¹.



Kuva 13. Kerroksellisessa tiiliulkoseinärakenteessa käytettyjen materiaalien sorptiokäyrät. Kuvaajien pystyakselin asteikko vaihtelee materiaalien välillä.⁷²

Huokoisen ulkoseinärakenteen julkisivumateriaalin kapillaarisesti imeytyneen veden kuivuminen tapahtuu diffuusion ja kapillaarisen siirtymisen yhdistelmänä niin, että kapillaarisen siirtymisen osuus sekä kuivumisnopeus ovat suuremmat kuivumisen alussa⁷³.

3.7 Kosteuden ja epäpuhtauksien aiheuttamat haittavaikutukset

3.7.1 Kosteusteknisen vikasietoisuuden heikentyminen ulkoseinärakenteessa

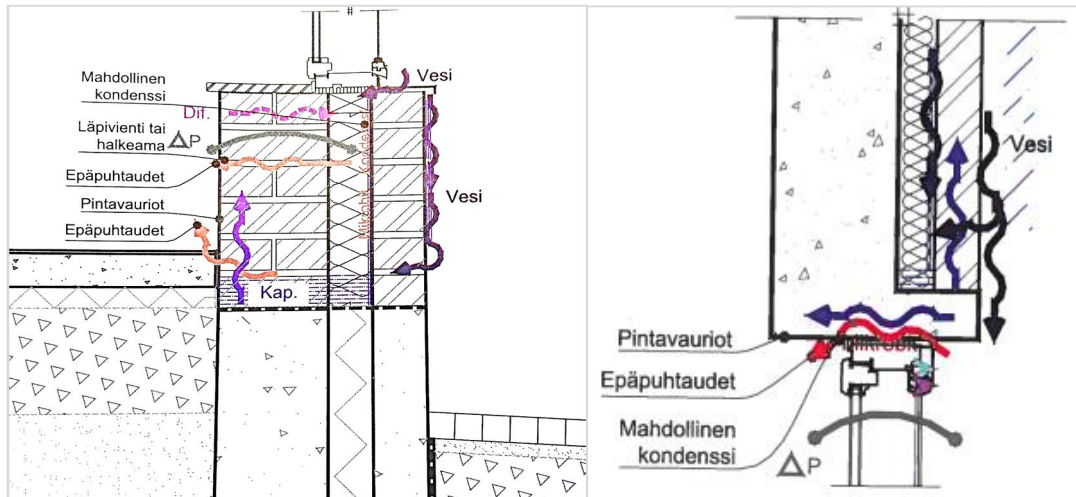
Ulkoseinärakennetta rasittaa niin ulkopuoliset kuin sisäpuolisetkin kosteuslähteet. Lisäksi rakenne pyrkii kosteustasapainoon ulko- ja sisäilman kosteuden kanssa. Diffuusion rajoittamiseksi seinä suunnitellaan yleensä niin, että sisäpinta on vesihöyrytiiviimpi kuin ulko-osa, joka usein tarkoittaa erillisen höyrysulun käyttämistä. Kerroksellisissa tiiliulkoseinärakenteissa ei 1960-1970 – luvulla yleisesti toteutettu tuuletusväliä, mikä heikentää rakenteen kuivumiskykyä. Tyypillisesti 1980-luvun rakennuksissa tuulettuminen on pyritty varmistamaan

⁷¹ Vinha, J. et. al. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja kosteuden funktiona. s. 41.

⁷² Björkholtz, D. Lämpö ja kosteus rakennusfysiikka. s. 60-62.

⁷³ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s 17.

avoimin tiilisaumoin ulkoseinän alareunassa sekä eristeen ja ulkokuoren välisellä tuuletusvälillä. Usein kuitenkin rakenteen tuulettuminen on heikentynyt muurauslaastin tukkiessa tuuletusvälin sekä avoimet tiilisaumat. Tuulettuvassa rakenteessa rakenteeseen tunkeutunut kosteus siirtyy myös painovoimaisesti ja ilmavirtauksien mukana pois rakenteesta. Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen yleisimmät vauriokohdat ovat lämmöneriste ja liitosrakenteet, sillä kosteuden tunkeutuessa muuratun ulkokuoren läpi saattaa kosteutta kertyä lämmöneristeisiin sekä ikkunakarmirakenteisiin. Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen ominaisuuksiin kuuluu myös sisäkuoren heikko ilmatiiveys, mikä saattaa johtaa hallitsemattomiin ilmavirtoihin sekä mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutumisen sisäilmaan.



Kuva 14. Vasemmalla ulkoseinän periaatteellinen toimintakuvaus ja vauriomekanismit⁷⁴. Sisäilman kosteutta siirtyy sisäkuoren läpi mutta kondensoituu ulompiin rakenteisiin. Sadevedet tunkeutuvat epäjatkuvuuskohtista ja julkisivun läpi. Paine-erojen synnyttämien ilmavirtaukset kuljettavat kosteutta ja epäpuhtauksia. Maakosteutta saattaa nousta kapillaarisesti sokkeliin ja siitä ulkoseinään. Oikealla leukapalkin vauriomekanismit⁷⁵.

Kuvassa 14 on esitetty tuulettumattoman tiili-villa-tiili rakenteisen ulkoseinän toiminta ja vauriomekanismit sekä leukapalkkidetaljin toiminta ja ongelmakohdat. Kuvasta voidaan nähdä luvussa 3 esille tuotujen rakennusfysikaalisten ominaisuuksien vaikutus rakenteeseen käytännössä. Ulkoseinän ja sokkelin välistä bitumikermiä tai vastaava kapillaarisulkua ei välttämättä ole aina käytetty ja alapohjan pintavaluun ja ulkoseinän välille on saattanut muodostua kutistumasärmä. Näin myös sokkelin ja alaosien epäpuhtaudet saattavat kulkeutua sisäilmaan heikentäen sen laatua. Leukapalkin päälle ei välttämättä ole toteutettu vedenohjausta, jolloin ulkokuoren läpäissyt vesi ei poistu kunnolla, vaan jää leukapalkkirakenteen päälle ja lisää kosteusrasitusta.

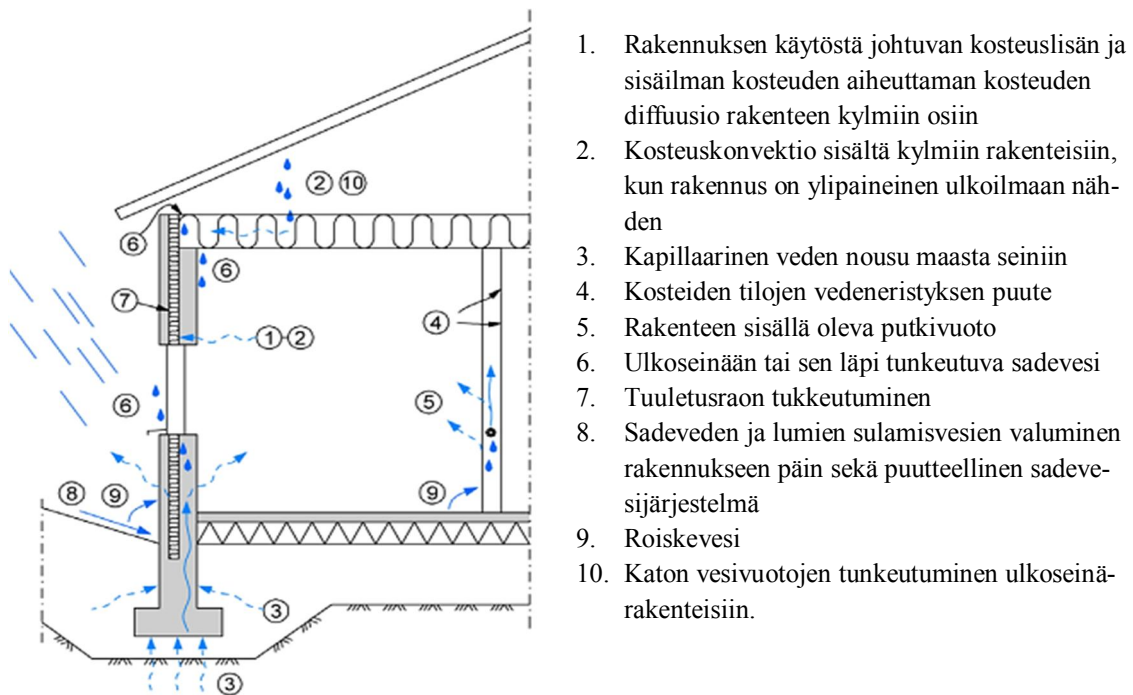
Ulkoseinärakennetta rasittavia kosteuslähteitä ovat vesi-, lumisade, sisä- ja ulkoilman kosteus, maaperän kosteus, pohjavesi, rakennuskosteus, rakennuksen tilojen käytöstä aiheutuvat

⁷⁴ Asikainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s. 192.

⁷⁵ Asikainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s. 208.

kosteusrasitukset sekä mahdolliset vuoto- ja roiskevedet. Tuulettumattomien tiiliulkoseinärakenteiden kosteusvauriot johtuvat usein viistosateesta, vaipan epäjatkuvuuskodista sekä siitä, että kosteus ei pääse poistumaan kunnolla rakenteesta⁷⁶.

Kuvassa 15 on esitetty seinien yleisimpiä kosteusvaurion syitä. Maaperän kosteus saattaa myös nousta kapillaarisesti sokkeleihin ja siitä ulkoseinärakenteisiin puuttuvien kosteussulkujen vuoksi. Myös roiskevedet saattavat kastella sokkeleita. Epätiivin ikkuna-, räystääs- ja oviliitosten vuoksi kosteutta pääsee monesti tunkeutumaan näistä rakenteen sisälle. Viistosateesta tuuli painaa sadetta ulkoseinälle ja tunkeutuu diffuusiolla tai kapillaarisesti tiili-kerroksen ja saumojen läpi lämmöneristysvillakerrokseen. Puuttuvan tuuletusvälin takia rakenteen kuivumiskyky on heikko, mikä puolestaan voi johtaa yleisesti lämmöneristeiden, ikkunarakenteiden ja ikkunoiden apukarmien kosteusvaurioihin. Pitkittyneet kosteusolosuhteet johtavat monesti mikrobivaurioihin. Toisaalta 1960-1980 – luvun ulkoseinärakenteissa on nykypäivää matalammat lämmöneristystasot, mikä johtaa suurempaan lämpövirtaan rakenteen läpi, joka kuivattaa rakennetta. Huomioitavaa on, että puuttuvasta höyrynsulusta ja tuuletusvälistä huolimatta ulkoseinärakenne voi olla kosteusteknisesti toimiva⁷⁷.



Kuva 15. Tavallisia seinien kosteuslähteitä ja vaurion aiheuttajia.⁷⁸

Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan vaikuttaa oleellisesti rakenteessa käytettyjen materiaalien ominaisuudet. Materiaaliominaisuuksiltaan tiili on esimerkiksi huokoinen ja sen kapillaarinen vedenimukyky ja vedenimunopeus ovat

⁷⁶ Asikainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s. 191.

⁷⁷ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 155-157.

⁷⁸ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 161.

suuria⁷⁹. Sadeveden aiheuttama kosteusrasitus on näin ollen merkittävä muuratuissa ulko-seinärakenteissa. Suomen säärasitетуimmat ilmansuunnat ovat kaakkois-lounaissektori, ja säärasitus on erityisesti etelä- ja rannikkoalueiden julkisivuilla viistosateen vaikutuksesta merkittävä. On myös tutkittu, että ilmastomuutos tulee lisäämään viistosateita etenkin rannikkoalueilla⁸⁰. Viistosateen jatkuessa pitkään, erityisesti ohuet julkisivutiilet kastuvat kokonaan. Kuorimuurin, joka on normaalista poltetusta tiilestä, imemät vesimäärät ovat suuruudeltaan noin 10-25 mm/m² normaalikivimuurauksessa ja moduulikivimuurauksessa noin 5-15 mm/m². Näin ollen tavallisella viistosateella lähes kaikki seinäpinnalle tuleva vesi imeytyy rakenteeseen⁸¹. Kuorimuurin sadevesitiiveyteen vaikuttaa myös käytetyt materiaalit, rakenteen paksuus sekä muurauslimitys⁸².

Vesihöyryn pitoisuuserot pyrkivät tasoittumaan rakenteen eri puolilla diffuusiolla kohti rakenteen sisäosia. Näin myös kosteustaso nousee eikä rakenne huonon tuulettuvuuden vuoksi pääse kunnolla kuivumaan, mikä kasvattaa vaurioitumisriskiä. Rakenne voi myös kuivua sisäänpäin, mikäli sisäkuoren pinta on riittävän vesihöyryä läpäisevä. Tähän vaikuttaa sisäkuoren materiaalin sekä mahdollisen pinnoitteen tai maalin vesihöyryvastus. Maalien ja levyjen vesihöyryvastukset ovat toisaalta suhteessa hyvin pieniä sisäkuoren materiaaleihin, kuten tiileen tai betoniin verrattuna. Maalien ja rakennuslevyjen, kuten kipsi- ja lastulevyn vesihöyryvastukset ovat luokkaa $0,5-2,5 \cdot 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ kun taas poltetulle tiilelle sama arvo on $11 \cdot 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ ja betonille $140-210 \cdot 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ ⁸³. Tämä siis tarkoittaa, että betoni-villa-tiili rakenteen kuivumiskyky sisäänpäin on heikompi kuin tiili-villa-tiilellä.



Kuva 16. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on ikkunaliittymän epätiiveyttä havainnoitu tunkeamalla veitsi rakenteiden väliin. Puinen ikkunakarmi on selvästi laho ja ikkunapellityksen kaato on puutteellinen. Oikealla nähdään ulkoseinän kulmarakenteen puutteellinen tiiveys ja rakenteiden väliin on työnnetty viivoitin eristekerrokseen asti. Rakennus on valmistunut 1977. Kuvat: V. Sandström, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.

Vesi voi kulkeutua seinärakenteen eristetilaan epätiivelyskohtien kautta myös muun muassa painovoiman ja ilmavirtausten vaikutuksesta. Epätiivisiä kohtia ovat raot ja halkeamat sekä

⁷⁹ Vinha et al. Ilmanmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteustekniiksessä toiminnassa ja rakennusten energiakulutuksessa. s. 174.

⁸⁰ Pakkala, T. A. et al. Climate change effect on wind-driven rain on facades.

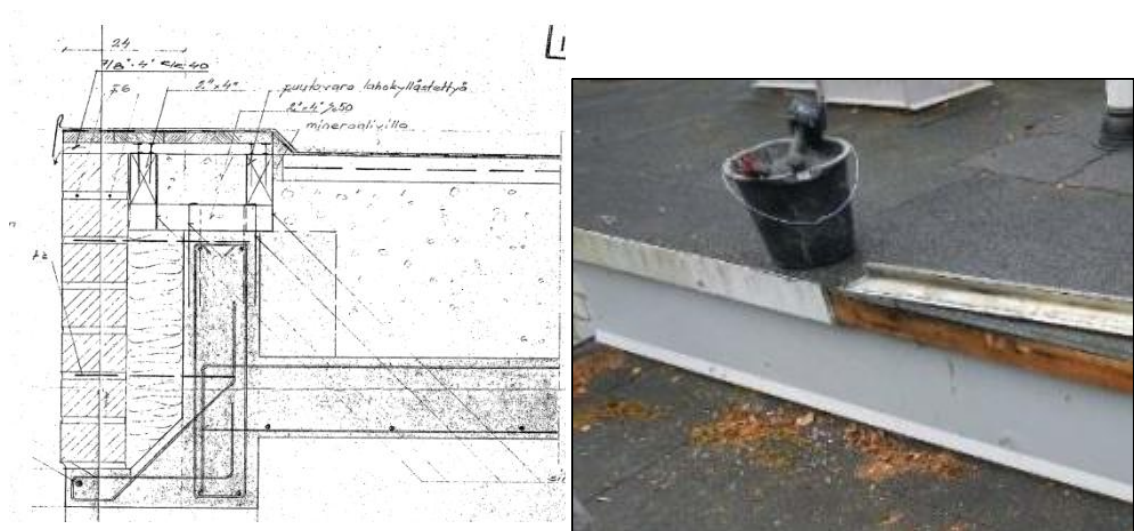
⁸¹ Huttunen, I. & Pentti, M. Julkisivukorjaushankkeen laadunvarmistus.

⁸² Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s 55.

⁸³ Tuotevalmistajan tiedot. Tikkurila. Ohjeet

huonosti täytetyt saumat ja rakenneliittymien epätiiveyskohdat. Kuvassa 16 on esitetty liitosrakenteiden epätiiveyttä. Muuraussaumojen tiiviyyteen vaikuttaa laastien tiiveys, tartunta muurauskiveen ja työn huolellinen suoritus⁸⁴. Tärkeimpiä materiaaliominaisuuksia ovat tiilen ja laastin yhteensopivuus, sillä pääasiallisia vuotokohtia ovat tiilen ja laastin väliset raot. Muurattujen seinärakenteiden laastien ominaisuuksissa on suuria eroja. Ne vaihtelevat käytettyjen osa-ainesten keskinäisten suhteiden mukaan, jotka vaikuttavat laastin huokosrakenteeseen.

Liiallinen kosteus rakenteissa voi aiheuttaa monenlaisia vaurioita ja haittoja. Useat kosteuden vaikutukset ovat sekä kosteuspitoisuudesta että vaikutusajasta riippuvia. Vaurioita ja haittoja liiallisesta kosteudesta ovat mm. lahoaminen, homehtuminen, jäätyminen ja pakkasvauriot, korrosio, lujuusominaisuuksien ja lämmöneristävyyden heikkeneminen, suolojen kulkeutuminen sekä värjäytyminen. Kuvassa 17 näkyy liiallisen kosteuden aiheuttamaa tummumista räystäsrakenteen otsalaudassa. Vuosina 1960-1980 oli kuvan mukainen tasakattorakenne tavallinen, jossa esiintyy monesti räystäsrakenteiden suunnitelmissa ja toteutuksissa kosteusteknisesti riskialttiita ratkaisuja, kuten dimensioiltaan pienet räystäspellit ja riskialttiit bitumikerman liitokset. Monet vaurioitumismekanismit voivat tapahtua vain kosteuden ollessa kriittisen kosteuden tietyn raja-arvon yläpuolella⁸⁵. Tällä kriittisellä kosteudella tarkoitetaan siis kosteuspitoisuuden rajaa, jonka alapuolella rakennusmateriaali toimii tyydyttävästi pitkiä aikoja. Raja ilmaistaan yleensä suhteellisenä kosteutena.



Kuva 17. Vasemmalla on betoni-villa-tiili rakenteisen rakennuksen räystäsdetallji ja oikealla kuva kohteen eritasoisen vesikaton räystäsrakenteesta. Rakenneavauksessa näkyy räystäspellin alapuoleinen otsalauta, joka on tummunut liitoskohdasta. Kohde on valmistunut 1971. Kuva: V. Sandström, Vahanan Rakennusfysiikka Oy.

Kosteusvaurion syntymisen syynä ei aina välttämättä ole ulkopuolinen kosteuslähde tai virhe suunnittelussa tai toteutuksessa. KTL:n selvityksen mukaan koulurakennuksien yleisin kosteusvaurion syntymisen syy oli materiaalien tekninen vanheneminen⁸⁶. Tämä voi olla esimerkiksi ruostuminen tai mekaaninen murtumien, jonka vuoksi kosteus pääsee tunkeutuma

⁸⁴ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s 55.

⁸⁵ Pentti, M. & Hyypöläinen, T. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. s. 47.

⁸⁶ Meklin, T. et al. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot –opas selvittämiseen. s. 8.

rakenteisiin. Korroosiota saattaa esimerkiksi tapahtua muuraussiteissä, silloin kun ei ole käytetty korroosionkestäviä siteitä. Riittämättömät tai puuttuvat liikuntasumat sekä nopeat jäätymis-sulamisvaiheet saattavat puolestaan aiheuttaa rakenteen halkeilua.

Mikäli rakennus sijaitsee kosteassa ja paljon kasvillisuutta sisältävässä ympäristössä saattaa julkisivuun syntyä sieni- ja sammalkasvustosta sekä muuta värjäytymää. Myös pitkittyneet kosteusrasitukset esimerkiksi riittämättömien ikkunapeltien alapuolelle saattaa syntyä tummentumaa. Tummentuma itsessään on lähinnä kosmeettinen ongelma, mutta värjäytyneiden alueiden avulla voidaan toisaalta havaita vaurioepäilyalueita ja rakenteellisia ongelmia. Muita kosmeettisia virheitä ovat tiilipintaan syntyvät suolaläiskät, jotka johtuvat tiilestä ja laastista vapautuvista suoloista, jotka kulkeutuvat ulkoseinästä haihtuvan veden mukana julkisivun pinnalle ja kiteytyvät muodostaen suolahärmettä. Tätä tapahtuu eniten etelä- ja länsijulkisivuilla, joissa haihtuminen on suurinta. Vanhoissa rakennuksissa pysyvät ja pitkäaikaiset suolaläiskät saattavat olla merkki lämpö- tai kosteusvuodosta⁸⁷.

3.7.2 Rakenteiden mikrobivaurioituminen

Mikrobikasvuston kehittyminen

Mikrobeja, kuten homesieniä ja bakteereita ja niiden itiöitä löytyy luonnossa kaikkialta ja ne ovat osa normaalia elinympäristöä. Rakenteiden pinnoilla on aina mikrobeja ja itiöitä, jotka ovat peräisin ulko- ja sisäilmasta⁸⁸. On tavanomaista, että ulkoilman tai maaperään yhteydessä olevissa rakenteissa on mikrobeja⁸⁹. Jos ympäristön olosuhteet ovat suotuisat mikrobikasvulle, voi itiöistä tai vähäisistä mikrobisoluista kehittyä riittävän ajan kuluessa mikrobivaurio. Mikrobivaurioksi katsotaan tilannetta, jossa materiaalissa tulkitaan selvää mikrobikasvua ja mikrobeista on haittaa joko rakenteille tai rakennuksen käyttäjille. Esimerkki tästä on tilanne, missä mikrobikasvu vaikuttaa rakenteiden lujuusominaisuuksiin tai kasvusta on ilmayhteys sisäilmaan.

Mikrobikasvuston kehittymiseen vaikuttaa useita tekijöitä. Näitä tekijöitä ovat kasvualustan kosteus, lämpötila, ravinnon koostumus ja pH, joista kasvua rajoittavana tekijänä on yleisesti ottaen kosteus. Kasvun kannalta oleellista on siis materiaalin ja pinnan olosuhteet, ei niinkään ympäröivän ilman. Kosteusolosuhteet ilmoitetaan yleensä joko vesiaktiivisuutena (a_w) tai vastaavan ilmansuhteellisenä kosteutena (RH). Mikrobikasvun optimaaliset olosuhteet ovat, kun lämpötila on +20-30°C ja materiaalin huokosilman tasapainokosteus 95-99% tai materiaalin vesiaktiivisuutena ilmoitettuna 0,95-0,99⁹⁰. Vähimmäiskosteus on rakennusmateriaaleilla yleensä noin RH 75-80 %. Joillain hyvin homehtumisherkillä rakennusmateriaaleilla homesienen kasvu saattaa alkaa jo RH 65-75 %. Bakteerit ja sädesienet sekä lahottajasienet tarvitsevat korkeamman ilman suhteellisen kosteuden kasvuun, vähintään RH 95%. Rakennusmateriaaleilla kasvavat mikrobit tarvitsevat yleensä yli 5°C lämpötilan kasvamiinseen ja enimmäislämpötila on noin 50°C.

Toisaalta mikrobikasvuun ei välttämättä tarvita edellä mainittuja olosuhteita. Mikäli lämpötilaa ja kosteus ovat matalammat, on mikrobikasvu tällöin vaan hitaampaa. Mikrobi ei myöskään kuole lämpötilan laskiessa pakkaselle tai jos kosteus on alle kasvuoptimin, vaan vaipuu

⁸⁷ Rakentaja.fi. Tiilipintojen puhdistus ja huolto.

⁸⁸ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s.127.

⁸⁹ Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016, Osa IV. s. 8.

⁹⁰ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 130.

niin sanottuun lepotilaan. Olosuhteiden muuttuessa taas suotuisaksi mikrobi jatkaa kasvuaan tai germinoituu. Kasvunopeuteen vaikuttaa myös lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutus ja kuinka pitkään otolliset olosuhteet vallitsevat. Orgaaniset rakennusmateriaalit ovat hyviä alustoja, koska ne toimivat mikrobin ravintona, mutta pöly ja muu lika voi myös riittää ravinnoksi joillekin mikrobeille. Näin ollen epäorgaaniset materiaalit kuten tiili ja mineraalivilla toimivat myös kasvualustana. Eri mikrobit ovat myös erikoistuneet kasvamaan eri kasvuympäristöissä ja olosuhteissa.

Yleisimmin käytetyt rakennusmateriaalit voidaan RIL 250-2011 ja VTT homeriskimallin mukaan jaotella taulukon 5 mukaisesti niiden homehtumisherkkyyden mukaan. Taulukosta nähdään, että sekä sementtipohjaiset tuotteet, tiilet sekä mineraalivillat ovat kohtalaisen kestäviä materiaaleja. Betonin homehtumisherkyys vaihtelee sen iän perustella, sillä betonin vanhentuessa ja karbonatisoitumisen myötä sen alkalisuus laskee. Tämä luo mikrobille suotuisamman kasvuympäristön. Toisaalta taulukko kuvaa puhtaiden materiaalien homehtumisherkkyyttä. Todellisuudessa rakennusmateriaalien pintaan kertyy ajansaatossa usein likaa, joka toimii mikrobin ravintona. Lisäksi kerroksellisissa tiiliulkoseinärakenteissa on liitosrakenteissa, kuten ikkunan apukarmeissa ja yläpojan tukirakenteissa myös puupohjaisia materiaaleja, johon mikrobikasvu kehittyy herkemmin. Huomioitavaa on, että rakennusmateriaalilla saattaa olla materiaalityypin sisäisiä eroja homehtumisherkkyydessä, ja että eri tutkimuslähtökohdilla saatetaan saada eri tuloksia homehtumisherkkyyksien suhteen⁹¹. Lähtökohdan variaatioita ovat esimerkiksi käytetty mikrobilaji, lämpötila, kosteus sekä tutkimusajan pituus.

Taulukko 5. Rakennusmateriaalinen jako homehtumisherkkyyksiluokkiin.⁹² Taulukossa tummennetut ovat kerroksellisessa tiiliulkoseinärakenteessa käytettyjä materiaaleja.

Homehtumisherkyys/kestävyysluokka	
Hyvin herkkä	käsittelemätön puu, runsaasti ravinteita sisältävä puu
Herkkä	höylätty puu, paperipintaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
Kohtalaisen kestävä	sementtipohjaiset materiaalit , kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni , tiilet , muovipohjaiset materiaalit, mineraalivilla
Kestävä	lasi- ja metallimateriaalit, tehokkaita suoja-aineita sisältävät tuotteet, alkalinen uusi betoni

Ulkoseinärakenteiden mikrobikasvu ja mikrobivaurioituminen

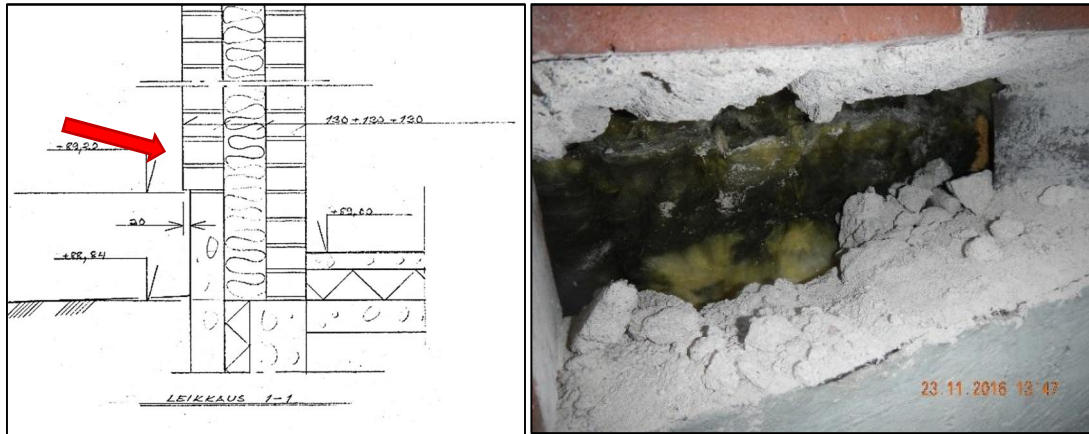
Rakennuksen ja rakenteiden mikrobivaurion toteaminen perustuu rakennuksen tutkimiseen esimerkiksi eri mittauksin ja mikrobiologisin näyttein. Mikrobikasvusto voi näkyä värin muutoksina pinnalla tai puuterimaisina, pistemäisinä tai pölymäisinä kasvustoina. Hajuhavainnot ovat myös tärkeitä ja maakellarimainen, tunkkainen tai imelä haju voivat viitata mikrobikasvustoihin⁹³. Kasvusto pyritään kuitenkin ensisijaisesti osoittamaan rakennusmateriaaleista otettavilla näytteillä, vaikka toimenpiderajan ylittymisenä pidetään jo aistinva-

⁹¹ Johansson, P. Determination for the critical moisture level for mould growth on building materials.

⁹² RIL 205-2011, s. 156 (täydennetty VTT-homeriskimallin mukaan)

⁹³ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 138-140.

raisesti havaitun kosteusvauriojäljen lisäksi sekä homeenhajua että näkyvää mikrobikasvusta⁹⁴. Aistinvarainen arviointi voi olla kuitenkin harhaanjohtavaa, sillä esimerkiksi ilmavuodot aiheuttavat myös mineraalivillan tummumista, jota ei kuitenkaan johdu mikrobikasvusta. Kuvassa 18 nähdään ulkoseinän ja sokkelin liitoksen rakenneavaus, jossa on mineraalivillanäytteessä todettu mikrobikasvua.



Kuva 18. Vasemmassa kuva on leikkausdetalji ulkoseinän sokkeliliittymästä. Materiaalit sisältä ulospäin ovat: maali, 130 mm kalkkiahiekkatiili, 130 mm vuorivilla, 130 mm poltettu tiili. Oikeassa kuvassa on sokkeliliittymän rakenneavaus, missä mineraalivillanäytteessä todettiin laboratoriossa selvää mikrobikasvua. Mineraalivillaeristeiden aistinvaraisissa havainnoissa on huomioitava, että tummentunut mineraalivillaeriste voi syntyä myös ilmavirtausten vaikutuksesta. Mineraalivillaeristeen mikrobikasvu on suositeltavaa osoittaa aina materiaalinäytteen avulla. Kuva: V. Sandström, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.

Sisäilmastoseminaarissa 2015 Meklin et al. esittivät ulkoseinän mineraalivillan mikrobipitoisuustutkimuksessaan, että pelkkä materiaalin ikääntyminen tai ulkoilma ei kerrytä materiaaleihin sellaista mikrobipitoisuutta, että sitä voitaisiin virheellisesti tulkita mikrobikasvustoksi⁹⁵. Ulkoseinien eristemateriaalien mikrobikasvun todettiin useimmiten liittyvän todellisiin kosteusvaurioihin. Samassa mikrobipitoisuustutkimuksessa tehtiin myös havainto, että vaurioepäilyistä näytteistä suhteellisen pieni määrä oli loppujen lopuksi mikrobivaurioituneita. Vaurioepäilyistä alle neljänneksessä oli ohjearvon ylittäviä mikrobipitoisuuksia. Vertailunäytteistä yli 90 % alitti ohjearvon. Toisessa ulkoseinäeristeiden mikrobien ja niiden merkitys sisäilmalaadun tutkimuksessa⁹⁶ saatiin tulokseksi, että havaintojen perusteella suurimpien ongelmien alueelta otetuista mikrobinäytteistä 32 % havaittiin selvää mikrobikasvua. Tämäkin tulos osoittaa, että mikrobimäärät ulkoseinärakenteen villaeristeessä ovat pieniä. Tutkimuksessa todetaan myös, että eristeen sisäpinnalta otettu mikrobinäyte voi johtaa virheellisiin johtopäätöksiin rakenteen kunnosta. Tämä taas poikkeaa ensin esitetyn ulkoseinän eristevillamateriaalien mikrobipitoisuuksien tutkimukseen, missä ohjearvopitoisuudet ylittyivät useimmiten eristeen sisäpinnalta otetuissa näytteissä.

⁹⁴ Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016, Osa IV. s. 3-4.

⁹⁵ Meklin, T. et al. Eristevillamateriaalien mikrobipitoisuudet ja lajisto ulkoseinärakenteissa. s. 359-364

⁹⁶ Markkanen, P. et al. Sisäilmaongelman tutkiminen – Ulkoseinäeristeiden mikrobit ja niiden merkitys sisäilman laatuun. s. 369.

Rakenteissa ei lähtökohtaisesti tulisi esiintyä mikrobikasvustoa, mutta on huomioitava, etteivät rakennusmateriaalit aina myöskään ole puhtaita mikrobeista tai epäpuhtauksista tullessaan tehtaalta⁹⁷. Mikrobeja voi myös esiintyä sellaisissa määrissä tai rakenteissa, ettei siitä välttämättä aiheudu haittaa sisäilman laatuun tai niillä ei ole vaikutusta rakennuksen ulkonäköön tai toimivuuteen. Mikrobikasvuston haitallisuuteen vaikuttaa useampi tekijä, kuten mikrobikasvustosta irtoavan epäpuhtauksien määrä, kasvuston runsaus, laajuus ja lajisto, vaurion sijainti, epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan ilmapuotoreittien kautta ja rakennuksen painesuhteet sekä kasvualustana toimiva materiaali ja mikrobin käytössä olevat ravinteet⁹⁸. Haitallisuuden mekanismeja ei toisaalta vielä täysin ymmärretä.

Rakennusmateriaaleilla voi kasvaa erilaisia home- ja hiivasieniä sekä aktinomykeettejä (sädesieniä) sekä muita bakteereita. Sädesienen nimitys tulee sen kasvutavasta, joka muistuttaa homesientä mutta on nimestään huolimatta bakteeri⁹⁹. Ne muodostavat homesientien tapaan rihmastoja kasvualustaan ja sen pintaan. Taulukossa 6 on lueteltu tyypillisiä ulko- ja sisäilmasta löytyviä mikrobeja sekä kosteusvaurioindikaattorimikrobeja.

*Taulukko 6. Ulko- ja sisäilman tyypillisiä sekä kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä.*⁹⁰

Ulkoilma	Sisäilma	Kosteusvaurioihin viittaavat
<i>Cladosporium</i> , basidiomukeetit ¹⁾ , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Alternaria</i> , hiivat, <i>Geotrichum</i> , steriilit ²⁾	<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , hiivat, bakteerit	<i>Acremonium</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. penicilliodes</i> / <i>A. restrictus</i> ³⁾ , <i>A. sydowii</i> , <i>A. versicolor</i> , basidiomykeetit ¹⁾ , <i>Chaetomium</i> , <i>Eurotium</i> , <i>Exophiala</i> , <i>Oidiodendron</i> , <i>Geomyces</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Phialophora</i> , <i>Scopulariopsis</i> , <i>Sporobolomyces</i> , <i>Sphaeropsidales (Phoma)</i> , <i>Stachybotrys/Memnoniella</i> ³⁾ , sädesienet (mm. <i>Streptomyces</i>), <i>Trichoderma</i> , <i>Tritirachium</i> / <i>Engyodontium</i> ³⁾ , <i>Ulocladium</i> , <i>Wallemia</i>

1) Kantasieniä, esimerkiksi useimmat tutut ”metsäsienet”, lahottajat, käävät ja ruostesienet, 2) lajeja, jotka eivät muodosta käytetyissä laboratorio-olosuhteissa lajitunnuksen mahdollistamia itiörakenteita, 3) hyvin lähisukuisia ja ominaisuuksiltaan samanlaisia lajeja tai sukuja.

Rakennusmateriaaleilla yleisimmin kasvava sädesienisuku on *Streptomyces*. Yleisimmäksi materiaalinäytteissä havaitut mikrobilajit on todettu olevan *A. versicollor* sekä *Penicillium*¹⁰⁰. Eri home- ja bakteerilajeja on lukuisia ja niitä voidaan jaotella tavallisesti ulko- tai sisäilmassa esiintyviksi. On myös sellaisia mikrobeja, joita ei merkittävinä pitoisuuksina yleensä löydy sisä- tai ulkoilmasta ja näitä kutsutaan kosteusvaurioindikaattoreiksi¹⁰⁶.

⁹⁷ Putus, T. Eristemateriaalien mikrobiologinen laatu.

⁹⁸ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s.142

⁹⁹ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 127-128

¹⁰⁰ Salonen, H. et al. Fungi and bacteria in mould-damaged and non-damaged office environments in a sub-arctic climate

Mikrobien terveysvaikutukset

Mikrobikasvuston ja ihmisten kokemien terveysoireiden välinen yhteys on aktiivisen tutkimuksen kohteena, mutta vaikutusmekanismi eli syy-yhteys on edelleen epäselvä. Terveyshaitan aiheuttajaksi epäillään mm. mikrobikasvuston ilmaan tuottamia toksiineja, mikrobien itiöitä, niistä irtoavia hajoamishiukkasia ja rakennusmateriaaleista mukana irtoavia kemikaaleja sekä näiden yhteisvaikutusta¹⁰¹. Toksiineja syntyy mikrobin kasvaessa ja niiden määrä vaihtelee mikrobisukujen ja -lajien välillä. Homesienet ja osa bakteereista tuottavat itiöitä, jotka ovat hiukkaskooltaan 1-10 µm. Pienemmät itiöt kulkeutuvat helpommin syvälle hengitysteihin. Hiivat ja useimmat bakteerit eivät tuota itiöitä, mutta niiden soluja voi irtautua kasvustosta ilmaan. Myös kuolleet mikrobit ja niiden osat voivat olla haitallisia minkä vuoksi myös vanhat vauriot suositellaan korjattavaksi. Mikrobit kulkeutuvat pääsääntöisesti ilmavirtojen mukana kaasuna tai erikokoisiin hiukkasiin sitoutuneena. Osa yhdisteistä voi myös kulkeutua ja läpäistä rakennusmateriaaleja diffuusiolla¹⁰². Aktiivinen kasvusto tuottaa yleensä runsaasti kaasumaisia epäpuhtauksia, kun taas kuivasta kasvustosta irtoaa hiukkasmaisia epäpuhtauksia.

Kuvassa 19 on esitetty mikrobikasvuston haitallisuuteen vaikuttavien tekijöiden yhteisvaikutuksen arviointi. Mitä alempana pyramidien tasolla ollaan, sitä suurempi on sisäilmavaikutusten todennäköisyys. Mikrobilajiston ja kasvualustan tiedetään voivan vaikuttavan kasvuston haitallisuuteen, mutta näiden tekijöiden luetettava arviointi ei ole vielä mahdollista.¹⁰²



Kuva 19. Mikrobikasvuston sisäilmavaikutuksien määrittäviä tekijöitä.¹⁰²

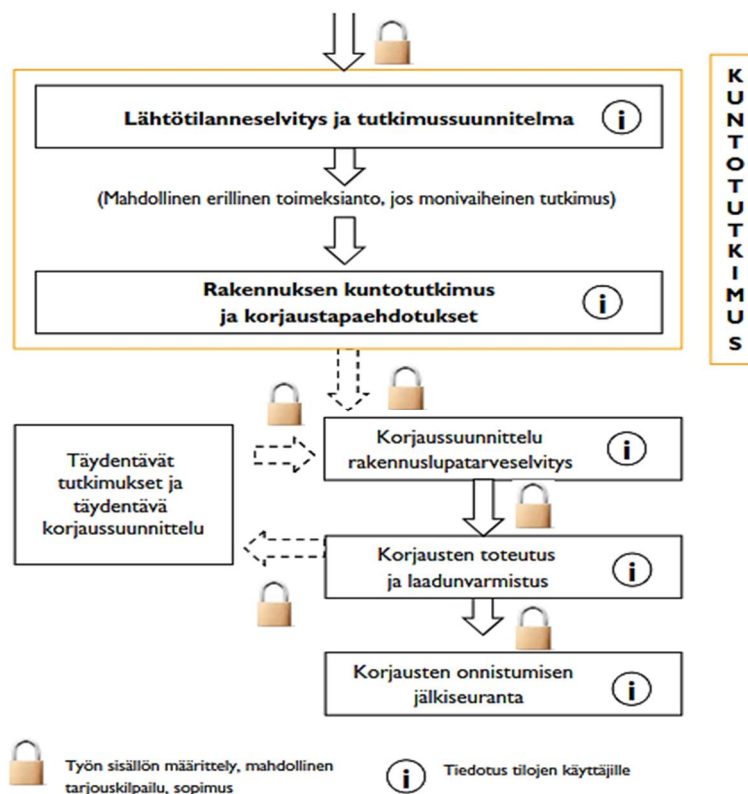
¹⁰¹ Huttunen, K. et. al. Mikrobitoksiinien hengitystievaikutukset. s. 373-375

¹⁰² YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 141-142.

4 Kerroksellinen tiiliukoseinärakenteen kuntotutkiminen ja korjausmenetelmät

4.1 Kuntotutkimuksen eteneminen

Kosteus- ja homevaurioselvitykset käynnistyvät yleensä rakennuksen käyttäjien epäiltyjen tai todettujen terveyshaittojen vuoksi tai havaittujen vaurioiden perusteella. Koko korjaushanke etenee kuvan 20 mukaisesti. Aluksi selvitetään lähtötilanne, tehdään kohdekäynti ja alustava riskiarvio¹⁰³. Tämän jälkeen tehdään kuntotutkimuksia ja kartoituksia lähtötilaselvitysten sekä mahdollisten käyttäjäkyselyjen perusteella. Korjaussuunnittelija tekee tutkimustulosten perusteella vaihtoehtoisia korjaustapaehdotuksia, joista rakennuttaja päättää mikä korjausratkaisu toteutetaan¹⁰⁴. Kun korjaustapa on päätetty, laatii suunnittelija korjaussuunnitelmat. Korjauksien toteutuksen aikana on työn valvonta ja laadunvarmistus tärkeää kuten myös tiedottaminen. Työn valmistumisen jälkeen on kiinteistön omistajan seurattava korjaustyön onnistumista jälkiseurantana.



Kuva 20. Sisäilmaongelmaisen kohteen korjaushankkeen kulku.¹⁰⁵

Sisäilmaongelmaisen rakennuksen lähtötilanneselvityksen suorittaa kuntotutkija, jolla on riittävä asiantuntemus sekä rakennus- että LVI-tekniikan osalta. Tilaaja toimittaa yleensä tarjouspyynnön yhteydessä oleelliset piirustukset sekä raportit aikaisemmin tehdyistä tutki-

¹⁰³ Salonen, H. Indoor air contaminants in office buildings. s. 108

¹⁰⁴ Askainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s. 13

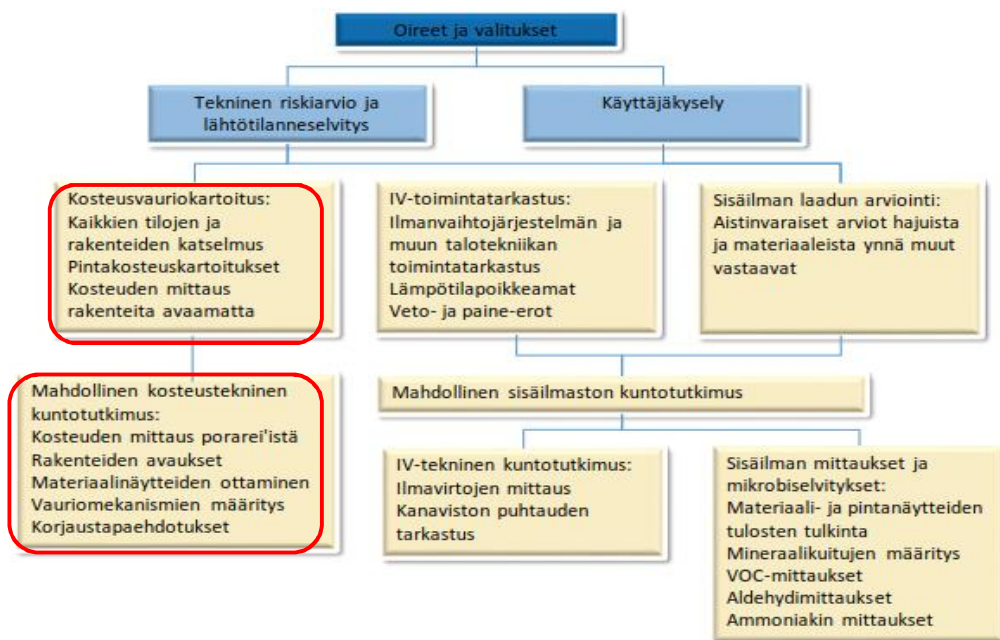
¹⁰⁵ YM. 2016. Ympäristöopas 2016, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 17-25.

muksista ja korjauksista. Lähtötilanneselvityksessä tarkastetaan piirustuksien sekä aikaisempien selvitysten perusteella riskirakenteet ja ilmanvaihtojärjestelmän tekninen taso. Kohteesta tehdään alustavaa riskiarvio, joka perustuu lähtötietoihin sekä lyhyeen katselmuskierrokseen. Alustavaa riskiarviointia varten voidaan tehdä käyttäjäkysely¹⁰⁶, joka sisältää rakennuksen käyttäjien sekä huoltohenkilökunnan teknisiä havaintoja. Kohteisiin voidaan myös tehdä sisäilmasto- ja oirekysely, joka painottuu käyttäjien kokemaan sisäilmalaatuun, sairastavuuteen sekä rakennukseen liittyviin oireisiin. Tämä tulee tehdä yhdessä terveydenhuollon alan ammattilaisen kanssa ja se voidaan toistaa, kun korjaukset ovat valmistuneet.¹⁰⁷

108

Alustavien selvitysten perusteella laaditaan yleensä tutkimussuunnitelma, joka toimii kuntotutkimussopimuksen tai -tilauksen lähtötietona sekä perustana kuntotutkimuskustannusten arvioon. Tutkimussuunnitelman tulee sisältää oleelliset toimenpiteet ja tutkimusmenetelmät kosteus- ja homevaurion syyn ja laajuuden selvittämiseen. Rakenteiden kuntotutkimusmenetelmiä on lukuisia, jotka soveltuvat eri tutkittaviin alueisiin ja tutkimus laajuuksiin. Seuraavissa luvussa käsitellään tarkemmin niitä menetelmiä, jotka ovat oleellisia ulkoseinärakenteen tutkimisessa. Kuntotutkimuksien ja kartoitusten tarkoitus on toimia korjaussuunnittelun pohjatietona. Tutkimuksien tulee perustua kohteen lähtötietoihin, jotta tutkimukset saadaan kohdistettua oikein sekä tutkitaan riittävällä perusteellisesti. Esimerkiksi peruskorjaushankkeen yhteydessä on myös järkevää kartoittaa sisäilman riskejä, jotta nämä voidaan poistaa peruskorjauksen yhteydessä. Kuvassa 21 on esitetty rakennuksen kunnon arvioinnin sekä tutkimisen vaiheet, joista on korostettu ulkoseinän tutkimisen kannalta oleelliset kohdat.

117, 118



Kuva 21. Kuntotutkimuksen vaiheet oire-/vikailmoituksesta kosteus ja sisäilmamittauksiin¹¹⁷. Punaisella merkityt alueet ovat ulkoseinärakenteeseen liittyviä tutkimusalueita.

¹⁰⁶ Salonen, H. Indoor air contaminants in office buildings. s. 108

¹⁰⁷ Askainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s. 15-18.

¹⁰⁸ YM. 2016. Ympäristöopas 2016, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 17-25.

4.2 Tutkimusmenetelmät

4.2.1 Aistinvaraiset tutkimusmenetelmät

Tiili tai betoni-villa-tiili ulkoseinärakenteen kuntotutkimuksessa on tarkasteltava koko ulkoseinärakenteen kunto, johon kuuluvat kosteustekninen toiminta, eristetilän kunto, sisäkuoren ilmatiiveys ja ulkopuolinen vesitiiveys. Aistinvaraisilla tutkimusmenetelmillä tarkoitetaan ainetta rikkomattomia menetelmiä, kuten silmämääräisiä sekä hajun perusteella tehtyjä havaintoja. Aistinvarainen läpikäynti tarkoittaa rakennuksen läpi käyntiä tarkastellen mahdollisia epäilyttäviä tiloja tai rakenteita. Tarkastuksessa kiinnitetään huomiota esimerkiksi näkyviin kosteusvaurioihin, tavanomaisesta poikkeaviin hajuihin, riskialttiisiin rakenneratkaisuihin, ilmavuotopaikkoihin sekä tilojen käyttöön ja huoltoon liittyviin tapoihin ja puutteisiin.

Aistinvaraisia havaintoja rakenteen sisäpuolelta ovat esimerkiksi halkeamat sekä ikkuna karmiliittymien ilmatiiveyden tarkastelu. Ulkopuolelta havainnoidaan julkisivusta, onko siinä tummentumia, sammaloitumista, rappauksen halkeilua tai vastaavaa. Lisäksi tarkastellaan tiilisaumoja, onko niissä rapautumaa tai halkeilua. Ulkoseinän ulkopuolisessa aistinvaraisessa tarkastelussa tulisi kiinnittää huomio erilaisten liittymien kuten ikkuna- ja oviliittymien vesitiiviuteen¹⁰⁹. Tavallisia vuotokohtia ovat ikkunapellitysten karmiliittymät sekä piilien liittymä ulkokuoren tiilimuuraukseen. Aistinvaraisten tutkimusten tueksi voidaan myös tehdä kevyitä rakenteita rikkomattomia mittauksia, kuten pintakosteuskartoituksia. Aistinvarainen tarkastelu on kuntoarvioon riittävä, mutta kuntotutkimukseen on yleensä tehtävä myös rakenteita rikkovia menetelmiä.

4.2.2 Pintakosteuskartoitus

Aistinvaraisten havaintojen yhteydessä voidaan myös tehdä pintakosteuskartoituksia. Yleensä lattiapinnoille tehtävä pintakosteuskartoitus voidaan myös tehdä esimerkiksi ulkoseinän sisäpinnan sekä liittymärakenteiden alueelle. Ne ovat ulkoseinärakenteen osalta yleensä pistokoeluontoisia ja keskittyvät liitosrakenteisiin ja ongelmallisiksi koettujen rakenteiden tarkasteluun, mutta voidaan myös tehdä kattavasti esimerkiksi koko sisäkuorelle. Sisäpuolella voidaan esimerkiksi tarkastella sisäkuoren alareunaa alapohjan liittymästä sekä vesikattoliittymät. Joissain tiiliverhotuissa rakenteissa on käytetty leukapalkkirakennetta ikkunoiden yläpuolella, joiden päälle kertyy helposti vettä, mikä monesti nostaa paikallisesti ulkoseinän kosteusrasitusta. Näitä olisi myös hyvä tarkastella. Pintakosteuskartoituksella saadaan arvioitua kosteustasoltaan poikkeavia alueita. Pintakosteuskartoitus on kuitenkin vain suuntaa antava menetelmä, joka perustuu samasta rakenteesta eri alueilta saatujen arvojen vertailuun. Pintakosteuskartoitus suoritetaan siihen tarkoitettulla pintakosteusosoittimella.

4.2.3 Rakenneavaukset ja mikrobiologinen näytteenotto

Rakenneavauksien avulla voidaan kartoittaa vastaavatko rakenteet saatuja lähtötietoja sekä tarkastella riskialttiita rakenteita ja niiden toimintaa. Rakenneavauskohdat perustuvat annettuihin lähtötietoihin sekä kohteessa tehtyihin havaintoihin. Lähtökohtaisesti rakenteita pyritään tarkastelemaan rakenteita rikkomattomilla menetelmillä, mutta esimerkiksi puuttuvat

¹⁰⁹ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 161-162.

rakennepiirustukset tai epävarmuus niiden paikkansapitävyydestä johtavat usein rakenneavauksiin. Rakenneavauksia voidaan suorittaa sekä sisä- että ulkopuolelta. Lisäksi niistä voidaan tehdä täydentäviä tutkimuksia, kuten ottaa materiaalinäytteitä mikrobi- ja haitta-aineanalyysjä kartoitusta varten. Kerroksellisessa tiilirakenteessa ei tyypillisesti ole käytetty haitta-aineita, mutta maalipinnassa, tasotteissa, rappauksessa ja sokkelirakenteessa saattaa olla.¹¹⁰ Avauskohdista voidaan myös harkitusti tarkastella rakenteen kosteusteknistä toimintaa esimerkiksi porareikämittauksella.

Tiili-villa-tiili tai betoni-villa-tiili rakenteista ulkoseinää voidaan tutkia sekä sisä- että ulkokautta. Rakenneavaus suoritetaan niin että sisä- tai ulkokuori porataan tai avataan eristekerrokseen. Tiilimuurauksesta voidaan esimerkiksi poistaa muutama tiili irrottamalla tiiliä saumoistaan esimerkiksi piikkaamalla. Mikäli eristeestä otetaan materiaalinäyte, on avaus suoritettava siten, että näytteenottoa ei kontaminoidu. Näytteenoton jälkeen avauskohdasta voidaan mitata rakenneosien paksuudet ja tutkia kerroksia aistinvaraisesti tai endoskoopin avulla. Havaintojen perusteella voidaan arvioida rakenteen kuntoa ja vaurioitumisastetta. Tyypillisiä rakenneavauskohtia ovat yleensä riskirakenteet sekä rakenteet, joita ei silmämääräisesti pysty kunnolla tarkastelemaan.

Ulkoseinärakenteen tutkimuksissa mikrobiologinen näytteenotto tehdään yleensä materiaalinäytteenä, koska kyseisellä menetelmällä pystytään tarkimmin analysoimaan rakenteessa olevia mikrobeja. On tutkittu, että esimerkiksi ilmanäytteiden perusteella saattaa rakennuksen mikrobiologinen taso vaikuttaa tavanomaiselta, vaikka materiaalinäytteillä on kuitenkin osoitettu, että ulkoseinien eristekerroksessa on selvää mikrobikasvua ja ilmayhteys sisäilmaan¹¹¹. Ilmanäytteiden tuloksien tulkintaa vaikeuttaa se, että sisäilman mikrobipitoisuus saattaa vaihdella suuresti ajan ja paikan suhteen¹¹². Materiaalinäytteen mikrobiologisella analyysillä saadaan selville näytteen mikrobimäärät sekä lajistot. Näytteenotolla voidaan myös rajata vaurion laajuutta. Laboratorio tutkimukset voivat myös olla tarpeen, mikäli tarvitaan tietoa näytteen mikrobilajistosta esimerkiksi altistumisen arvioimiseen tehtävien tutkimusten tueksi¹¹³. Aistinvarainen arvio ei välttämättä ole myöskään riittävän tarkka ja sen heikkoutena voi olla sen subjektiivisuus. Kukin tutkija kokee mikrobiperäisen hajun ja vaurioviitteet eri tavoin. Esimerkiksi ilmapuotojen aiheuttama mineraalivillan tummentuminen saatetaan virheellisesti tulkita vaurioksi. Toisaalta myös silminnähden puhtaassa villassa saattaakin olla kasvustoa.

Mikrobinäyte tulisi aina ottaa muun rakennusteknisen tarkastelun ohessa, ei irrallisena toimenpiteenä. Näytteenotto kohdat tulee valita tutkimuksen tavoitteiden ja epäillyn vaurion perusteella. Lisäksi on myös suositeltavaa ottaa vertailunäyte, joka otetaan saman rakenteen vaurioitumattomaksi arvioidusta kohdasta. Tavoitteen on selvittää, kuinka laajasti mahdollisia vaurioita on ja miten pitkälle edenneitä vauriot ovat. Kerroksellisesta tiiliulkoseinärakenteesta näyte otetaan yleensä eristekerroksesta. Materiaalinäytteiden avulla voidaan arvioida eristeen kokonaisvaurioituneisuus, minkä avulla on mahdollista arvioida epäpuhtauksien vaikutusta sisäilmaan ilmatiiveyttä ja paineolosuhteita tarkastellen.

¹¹⁰ RT 18-11245. Haitta-ainetutkimus: Rakennustuotteet ja rakenteet. s. 10.

¹¹¹ Markkanen, P. et. al. Sisäilmaongelman tutkiminen – Ulkoseinäeristeiden mikrobit ja niiden merkitys sisäilman laatuun. s. 365-369.

¹¹² Hyvärinen, A. et. al. Temporal and spatial variations of fungal concentrations in indoor air. s. 694.

¹¹³ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 48.

Näytteiden kasvattamisen jälkeen mikrobipesäkkeet lasketaan ja tunnistetaan mikroskopimallilla. Materiaalinäytteen määrä tulisi olla noin 10 cm x 10 cm tai noin 1 dl materiaalia. Mikrobit kasvavat yleensä materiaalin pinnalla, joten näyte tulisi ottaa noin 0,5-1 cm:n paksuudelta pinnasta tai materiaalista irrotetaan vain vaurioitunut osa. Mikäli näytteitä otetaan useampi, tulee käytettävät työvälineet desinfioida joka näytteenoton välillä 70-80% etanolilla tai isopropanolilla. Työvälineiden tulee olla puhtaita ja on käytettävä suojahanskoja. Näyte pakataan puhtaaseen suljettavaan muovipussiin ja yhteen näytteenottopussiin tulee ottaa vain yhtä materiaalia. Näytteiden tiedot kirjataan myös kenttämuistiinpanoihin ja näytteenottolomakkeelle. Näytteen materiaali, tutkittu rakenneos ja sijainti tilassa tulee merkata raporttiin ja näytteenotto kohta tulee valokuvata sekä merkitä raporttia varten pohjapiirustukseen.^{114 115}

4.2.4 Ulkovaipan paine-eromittaukset

Rakenteiden kosteusteknisen sekä ilmanvaihdon toiminnan varmistamisen kannalta on oleellista tuntee rakennuksen painesuhteet. Liiallinen alipaine saattaa kuljettaa rakenteissa olevia epäpuhtauksia sisäilmaan, mutta ylipaineisen sisäilman vaikutuksesta saattaa sisäilman kosteutta siirtyä rakenteisiin. Hetkelliset paine-erot mitataan sähköisillä mitta-antureilla, jotka yleensä kytketään elektroniseen tiedon tallentimeen, dataloggeriin. Näin saadaan paine-ero jatkuvana seurantamittauksena. Paine-erojen hetkellisten vaihteluiden vuoksi mittaukset ovat suositeltavaa suorittaa jatkuvana pitkäaikaissuranta noin 1-2 viikon mittausjaksona. Näin saadaan riittävä mittaustarkkuus. Mikäli ei dataloggeria ole käytössä, voidaan mittaus suorittaa myös useana peräkkäisenä mittauksena, josta lasketaan keskiarvo. Paine-eromittaukset vaipan yli tulisi tehdä tilojen tavanomaisen käytön aikana, ilmanvaihdon ollessa normaaleissa käyttöasetuksissa ja niin että ovat ja ikkunat ovat suljettuna. Tuulen vaikutus paine-eroon on myös huomiotavaa ja mittausta hyvin tuulisella (tuulen nopeus yli 5 m/s) tai kovin kylmissä tai kuumissa oloissa (ulkolämpötila alle -20 °C tai yli +22 °C) tulisi välttää.¹¹⁶ Painesuhteiden mittausmenetelmiä on ohjeistettu standardissa SFS-EN 12599¹¹⁷.

4.2.5 Rakenteiden ilmatiiveyden sekä epäpuhtauksien kulkeutumisen tarkastelu

Ulkoseinärakenteen ja sen liittyvien rakenteiden ilmatiiveyttä voidaan tutkia merkkisavulla tai merkkiainekokeilla. Merkkisavututkimuksia käytetään aistinvaraisten tutkimusten tukena. Merkkisavu on paksua valkoista kaasua ja sillä voidaan havainnoida ilmavuoto kohtia ja ilmavirtauksen voimakkuutta. Sitä käytetään pienialaisissa tutkimuksissa, kuten halkeamien ja jalkalistojen liittymien viitteelliseen tarkasteluun. Merkkiainekokeella tarkoitetaan menetelmää, jossa erityistä kaasua ja sitä havaitsevaa mittalaitetta apuna käyttäen voidaan selvittää rakenteiden sisällä ja niiden läpi tapahtuvia ilmavirtauksia. Merkkiainekoe mahdollistaa ilmavuoto kohtien sijainnin tarkan määrittämisen, sillä merkkiaineen liikettä konvektion ja diffuusion avulla rakenteissa ja eri tilojen välillä voidaan tutkia jatkuvana mit-

¹¹⁴ YM. 2016. Ympäristöopas 2016, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 48-50.

¹¹⁵ Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa IV. s. 5.

¹¹⁶ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 83.

¹¹⁷ SFS-EN 12599. Rakennusten ilmanvaihto. Ilmastointi- ja ilmavaihtojärjestelmien luovutukseen liittyvä testimenettelyt ja mittausmenetelmät.

tauksena. Tutkimuksesta saatua tietoa voidaan hyödyntää mm. sisäilmaongelmien selvittämiseen, korjaussuunnittelun lähtötietona, laadunvarmistukseen ja energiatehokkuutta parantamiseksi tehtävien korjausten lähtötietona.

Merkkiainekoe suoritetaan niin, että ulkoseinän välitilaan lasketaan merkkiaineakaasua, joka liikkuu ilmavirtojen mukana alipaineiseen tilaan päin. Huonetilassa vuotokohdat voidaan paikallistaa seuraamalla merkkiaineakaasua merkkiaineanalysaattorilla (kuva 22). Laadunvarmistuksessa huonetila tulisi olla -10...-15 Pa alipaineinen ja kuntotutkimuksessa varmistetaan, että alipainetta on ja että se on tasainen koko mittauksen aikana¹¹⁸. Merkkiainekokeen luotettavuuden kannalta tulisi rakenteen yli tarkasteluhetkenä kuitenkin olla vähintään -5 Pa alipaine. Merkkiainetutkimus toimii hyvin tiili- tai betoni-villa-tiili rakenteessa, sillä merkkiakaasu liikkuu hyvin mineraalivillaeristekerroksessa¹¹⁹. Merkkiainekokeen suorittamista on ohjeistettu RT-kortilla RT 14-11197.



Kuva 22. Tiiliulkoseinärakenteen merkkiainemittaus, jossa rakenteeseen laskettu merkkiaine paikallistetaan merkkiaineanalysaattorilla. Kuva: T. Syrjäläinen, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.

4.2.6 Lämpökuvaus

Rakennuksen lämpökuvaus on ainetta rikkomaton menetelmä, jolla voidaan tutkia rakenteiden toimintaa. Lämpökameralla voidaan havainnoida rakenteen eristävyyttä ja eristepuutteita sekä ilmavuotoja, kylmäsiltoja tai joissain tapauksissa myös kosteusvaurioita. Lämpökuvaus voidaan suorittaa joko sisä- tai ulkopuolelta, joskin sisäpuolinen kuvaus on yleisempää. Lämpökuvauksen yhteydessä on aina suoritettava paine-eromittaus niin, että kuvaus ja tulkinta voidaan tehdä oikein. Sisällä vallitseva alipaine saa korkeintaan olla -15 Pa ja tuulen nopeus saa korkeintaan olla 10 m/s. Rakennusten lämpökuvasta on ohjeistettu RT-kortilla¹²⁰ RT 14-112239 ja rakennuksen lämpökuvaajalta edellytetään VTT:n myöntämää henkilösertifiointia.

¹¹⁸ YM. Ympäristöopas 016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 59-61, 162.

¹¹⁹ RT 14-11197. Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. s. 12-13

¹²⁰ RT 14-11239. Rakennuksen lämpökuvaus.

4.2.7 Muut tutkimusmenetelmät

Edellä esitetyt tutkimusmenetelmät ovat yleisiä ulkoseinärakenteen tutkimisessa. Rakennuksen kokonaisvaltaisen sisäilma- ja kosteusteknisen toimivuuden tarkasteluun soveltuu myös muita tutkimusmenetelmiä. Mikäli jossain kohdassa epäillään poikkeavan korkeaa kosteutta, voidaan tämä tarkistaa rakennekosteusmittauksin. Rakennekosteusmittauksella selvitetään pintarakenteisiin kohdistuva todellinen kosteusrasitus. Rakenteiden kosteuspitoisuus ja –jakuma sekä kosteuden siirtymisen suunta voidaan selvittää¹²¹. Rakennekosteusmittauksista löytyy sekä tarkkoja että suuntaa antavia menetelmiä. Tarkkoja menetelmiä ovat esimerkiksi viilto- ja porareikämittaus sekä materiaalin kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaus-punitusmenetelmällä. Käyttökelpoisia ulkoseinälle tehtäviä mittauksia ovat esimerkiksi eristetilän lyhytkestoinen RH-mittaus tai jatkuvatoiminen pidempi mittaus. Jatkuvatoiminen mittaus on yleensä informatiivisempi ja tulokset ovat helpommin tulkittavia kuin kertamittauksista.

Rakennuksen ja sisäilmalaadun tarkastelun kannalta on usein myös oleellista tarkastella ilmanvaihdon kunto. Ilmanvaihdon tehtävänä on poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia sekä ylimääristä kosteutta. Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden tarkasteluun liittyy monta tekijää, kuten ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi, IV-koneet palvelualueittain, laitteiden ikä ja kunto, ilmanjakotapa ja ilmanjaon toimivuus huonetiloissa sekä rakennusautomaatio¹²². Tutkimuksiin kuuluu myös kanaviston puhtauden tarkastaminen, joka voidaan tehdä visuaalisesti tai sormipyyhkäisyllä. Lisäksi osien ja laitteistoiden puhtaus tulee arvioida silmämääräisesti. Mahdollisiin mineraalikuitulähteisiin on myös kiinnitettävä huomiota¹²³. Ilmanvaihdon toimivuuden tarkastelumenetelmä on myös ilmamäärien mittaaminen, joka suoritetaan mittaamalla tulo- ja poistoilmapäätteistä ilmamäärät. Lisäksi IV-koneiden kokonaisilmamäärät tulee mitata niin, että saadaan selville, onko ilmanvaihdon kokonaisilmamäärät suunnitelmien mukaiset. Asumisterveysasetuksessa on määritelty, että ulkoilmanvirran tulee olla käytön aikana vähintään 0,35 dm³/s neliömetriä kohden kaikissa asuinhuoneistoissa¹²⁴. Koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää arvioidaan mittaamalla ulkoilmanvirrat tuloilmaventtiilistä. Lisäksi mitataan poistolimavirta poistolimaventtiilistä, jolloin nähdään, mikäli ilmanvaihto on tasapainossa. Koneellisessa poisto –ilmanvaihtojärjestelmässä ulkoilmavirrat mitataan poistolimaventtiileistä. Riittävyyttä arvioidaan mittaamalla tilan alipaineisuus tai vertaamalla poistoilmamääriä ikkuna avattuna. Painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää voidaan arvioida merkkiainekokein tai hiilidioksidimittausten avulla.

Julkisivun kuntotutkimuksessa käyttökelpoisia tutkimusmenetelmiä aistinvaraisen havainnoinnin ja rakenneavauksien lisäksi on karbonatisoitumissyvyyden määrittely sekä materiaalien ohuthietutkimukset. Kyseiset tutkimukset suoritetaan julkisivun betonirakenteisten osien tutkimisessa, joskin ohuthie voidaan suorittaa myös rappaukselle ja tiilelle. Ohuthietutkimuksessa poratusta näytepalasta leikataan lähes läpinäkyvä näyte (paksuus yleensä 25–30 µm), josta mikroskoopin avulla voidaan havaita rapautumisesta johtuvaa säröilyä, materiaalin koostumus, huokosrakenne sekä pakkasvauriot. Karbonatisoitumissyvyyden määrittämisellä ja peitekerrosmittauksella voidaan kartoittaa betonista neutraloituneen alueen eteneminen ja terästen etäisyys pinnasta. Karbonatisoitumissyvyys määritetään rakenteesta poratun

¹²¹ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 53-59.

¹²² YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 83.

¹²³ Askainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s. 18.

¹²⁴ Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa I. s. 16-17.

näytepalan avulla suihkuttamalla pH-indikaattorina toimivaa fenoliftaleiini-liuosta, joka värjää betonikappaleen karbonatisoitumattoman vyöhykkeen. Mittaustuloksia voidaan hyödyntää ruostuneiden ja suojattavien terästen määrän arviointiin mittaamalla peitepaksuus betonin pinnalta betonipeitemittarilla.¹²⁵

4.3 Korjausmenetelmät

4.3.1 Korjaustapojen valintaan vaikuttavat osatekijät

Sisäilmaongelmaisen kohteen vaurion korjaamiseen löytyy useita menetelmiä. Menetelmien valinta on kohdekohtaista ja tulee perustua ammattilaisen tekemiin kuntotutkimuksiin. Korjausien tavoitteet voivat vaihdella tapauskohtaisesti lähtötilanteesta sekä korjauslaajuudesta riippuen. Tavoitteena voi olla esimerkiksi sisäilman laadun parantaminen estämällä epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan, sisäolojen parantaminen vetoisuuden vähentämisellä sekä myös energiakulutuksen vähentäminen. Lisäksi korjaukset voivat olla lyhytaikaisia tai pitkäaikaiskorjauksia. Käytävissä oleva budjetti sekä korjaukseen varattu aika vaikuttavat myös. Luvussa 4.3 esitetyt korjausmenetelmät eivät ole ainoastaan ongelman poistamiseen käyttökelpoisia. Menetelmiä voidaan myös käyttää rakennuksen kohentamiseen tai päivittämiseen, mikäli jokin rakenne tai rakenteet ovat käyttöikänsä päässä. Korjauksella voidaan saavuttaa energiatehokkaampi rakennus.

Korjausmenetelmien valinta tehdään jo hankkeen suunnitteluvaiheessa ja ne tulee miettiä jokaisen kohteen kohdalla erikseen. Korjaussuunnitelmien laatijalta vaaditaan rakennusfysikaalista osaamista ja ymmärrystä kokonaisuuden vaikutuksista sekä käytettävien materiaalien ja menetelmien tuntemusta. Suunnittelijoiden tulee olla riittävän päteviä suhteessa hankkeen vaativuuteen, joka voi vaihdella tavanomaisesta poikkeuksellisen vaativan. Suunnittelussa on mm. huomioitava rakennuksen lämpö- ja kosteustekninen toimivuus, joka voi muuttua korjausten toteuttamisen myötä ja esimerkiksi rakenteen kuivumiskyky on otettava huomioon korjausten yhteydessä¹²⁶.

4.3.2 Sisäpuoliset korjausmenetelmät

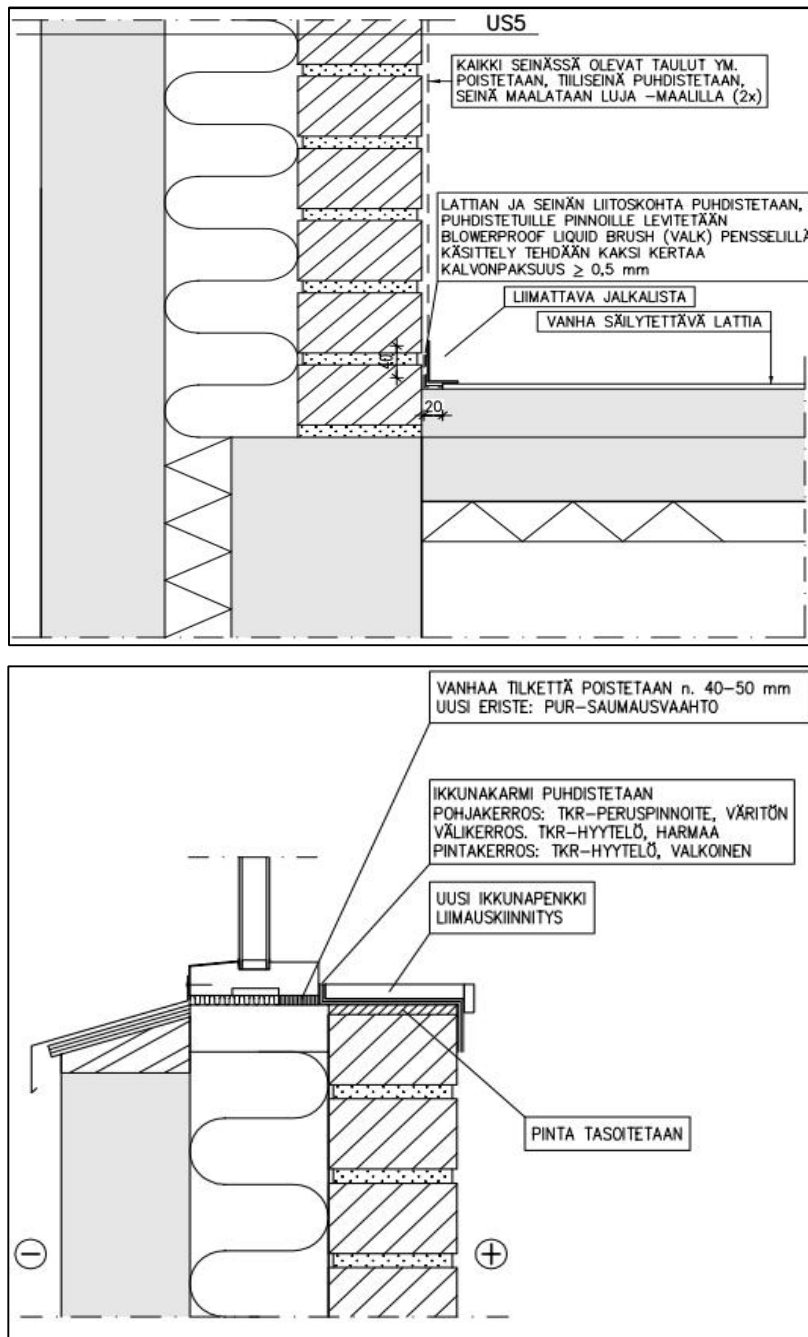
Ilmatiiveyden parantaminen

Rakennuksen vaipan epätiiveys voi synnyttää ei haluttuja ilmavirtoja rakenteissa kuten luvussa 2.2.1 esitettiin. Nämä kyseiset ilmavirrat sekä heikentävät rakennuksen energiatehokkuutta, että voivat synnyttää kosteuskonvektiota rakenteisiin ja kuljettaa epäpuhtauksia rakenteista sisäilmaan. Hyvä ilmatiiviys mahdollistaa myös ilmanvaihtojärjestelmän oikeanlaisen säätämisen, kun korvausilma kulkeutuu tiloihin hallitusti ja suunnitellulla tavalla. Yksi tärkeimmistä korjausmenetelmistä sisäilmaongelmaisissa kohteissa onkin ilmatiiveyden parantaminen rakenteita ja niiden liittymiä tiivistämällä. Epäpuhtaushavainnot tarkoittavat monesti toimenpiderajan ylittymistä, jolloin on STM 545/2015 mukaan ryhdyttävä toimenpiteisiin joko haitan poistamiseksi tai sen rajoittamiseksi. Ilmatiiveyden parantamisella voidaan estää epäpuhtauslähteiden kulkeutumista sisäilmaan. Yleensä tiivistyskorjauksissa

¹²⁵ Betonijulkisivun kuntotutkimus. 2013. s. 99-102, s. 107-109

¹²⁶ Laine, K. Rakenteiden ilmatiiveyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. s. 58

tehdään toimenpiteitä vaipparakenteiden (alapohja-, ulkoseinä- ja yläpohjarakenteet) sisäpintojen riittävän ilmatiivyyden varmistamiseksi. Ilmatiivyyden parantamiseen liittyviä yksityiskohtapiirustuksia on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Esimerkki 1970-luvulla valmistuneen koulurakennuksen ilmatiivyydenparantamissuunnitelmista. Ylemmässä kuvassa, on detajli ulkoseinän ja lattian liitoskohdasta ja alemmassa kuva ikkunan ja ulkoseinän detajlistia.

Ilmatiivyyden parantamista alettiin alun perin toteuttaa radonkaasun kulkeutumisen estämiseksi sisäilmaan. Sisäilmakorjausmenetelmänä tätä alettiin käyttää 1990-luvulla. 2000-luvulla on korjausratkaisut, käytettävät materiaalit sekä laadunvarmistusmenetelmät alkaneet vakiintua sisäilmaongelmakohteissa. Kuitenkin on toteutuksessa ja onnistumisessa

edelleen puutteita¹²⁷. Tiivistysmateriaalin hyvä tartunta alustaan on ehdoton edellytys pitkäaikaiskestävyydelle. Kokonaisuikainen valvonta työn valmistelusta itse asennukseen on tärkeää, sillä hyvä tartunta savutetaan parhaiten, mikäli tiivistyksen asennuksessa noudatetaan valmistajan ohjeita alustan käsittelystä itse asennukseen. Jos huolellisen suunnittelun ja valmistelun lisäksi tiivistysmateriaalien asennus tehdään oikein ja niiden tiiviys varmistetaan merkkiainekokein, voidaan lopputuloksesta odottaa kestävää. Ilmatiiveyden tavoitetaso voidaan jakaa eriasteisiksi korjaustasoiksi niiden vaativuuden ja tavoitteiden mukaan tavanomaisiksi, vaativiksi ja poikkeuksellisen vaativiksi¹²⁸. Tavanomaisessa tasossa ei ole todettu erillistä sisäilmaongelmaa, vaativassa on sisäilmaongelmia rajatulla alueella ja poikkeuksellisen vaativassa on rakennuksessa todettu poikkeuksellinen sisäilmaongelma. Suunnitelmien tulee myös vasta laajuuden ja sisällön perusteella korjaustason vaativuutta ja suunnittelijalla on oltava riittävä pätevyys korjauskohteeseen nähden. Myös laadunvarmistuksen ja asentajan pätevyys määräytyy tiivistyskohteen vaativuuden perusteella.

Sisäilmalähtöisissä korjauksissa käytetyistä materiaaleista on lisäksi käytännön kokemuksia hyvinkin pitkästä toimivuudesta ja jopa paljon vaativimmissa olosuhteissa, kuten ulkona ja teollisuudessa. Ilmatiiveyden parantamisen käytettyjä materiaa-
ratkaisuja on esimerkiksi vedeneristemassajärjestelmä, liitosnauhat, polymeeripohjaiset pastamaiset pinnoitteet ja kasviöljypohjainen elastinen pinnoite. Kuvassa 24 on esimerkki liitosnauhan ja tiivistysaineen käytöstä ikkuna ja seinäliittymän ilmatiiveyden parantamisessa. Hankalien yksityiskohtien toteuttamiseen on liitosnauha-asennuksen lisäksi käytettävä tarkoitukseen soveltuvaa tiivistysmassaa ja esimerkiksi muotoiltuja nurkkakappaleita ilmatiiviin asennuksen saavuttamiseksi.¹²⁹



Kuva 24. Esimerkki ikkunakarmin ja höyrynsulun välisen liitoksen toteutus liitosnauhalla. Lisäksi levyn liitoskohta on käsitelty tiivistysaineella. Kuva: P. Sallinen, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.

Ilmatiiveyden parantamista ainoastaan paikallisena korjausmenetelmänä ja menetelmän toimivuutta on aina tarkasteltava kohdekohtaisesti. Vanhojen tilojen ja rakennusten korjauksissa tiiviiden kannalta on erityisen tärkeää huomioida koko rakennuksen ominaisuudet ja

¹²⁷ Hakamäki, H. Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilmavuototiivistysten pysyvyyteen. s. 76-77

¹²⁸ Repo, J. Betonirakenteiden ilmatiiviyden hallinta sisäilmakorjauksissa. Liite 1

¹²⁹ Koskivuori, M. Liitosnauhojen käytettävyys ikkunaliittymien tiivistyksessä s. 124-125, Liite 1

toiminta ennen ja jälkeen korjausten¹³⁰. Yksittäisten korjausten tekeminen ei paranna koko tilan tiivyyttä eikä siten todennäköisesti poista sisäilmaongelmaa merkittävästi, eli rakenteiden ominaisuuksien tarkastelu tulee tehdä huolella ja arvioida millaisia seurauksia yksittäisen rakenneosan tai tilan tiivistäminen muodostaa koko rakennuksen ominaisuuksia ajatellen.

On myös huomioitava, että ilmatiiveyden parantaminen ei sovellu kaikkiin rakenteisiin. Lähtökohtaisesti rakenteita, joissa on selviä kosteus- tai mikrobivaurioita ei tiivistetä ilman ensin tapahtuvaa vaurion ja sen aiheuttajan poistamista. Lisäksi tietyille rakenneratkaisuille tiivistämistä on käytettävä harkiten. Esimerkiksi valesokkelin ilmatiiveyden parantaminen saattaa johtaa puumateriaalien lahoamiseen. Rakenteeseen pääsee lähtökohtaisesti kosteutta useasta lähteestä ja tiiveyden kasvaessa ilmavirtojen kuivattava vaikutus häviää.¹³¹

Kapselointi

Toinen korjausmenetelmä sisäilmaongelmakohteissa on rakenteiden kapselointi. Kapseloinnilla tarkoitetaan korjausmenetelmää, jonka tavoitteena on estää haitta-aineiden tai muiden epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan konvektiolla tai diffuusiolla materiaalin läpi. Haitta-aineet tulisi ensisijaisesti pyrkiä poistamaan rakenteista, mutta mikäli korjaukset ovat erittäin hankalia tai kustannussyistä kannattamattomia, voidaan kapselointia harkita korjausmenetelmäksi¹³². Kapselointi on esimerkiksi käyttökelpoinen tilanteissa, joissa haitta-aine pyrkii sisäilmaan laajoilta pinta-aloilta tai, jos vaurio on kantavassa rakenteessa. Myös kohteet, joissa rakenteiden purkaminen ei ole mahdollista, kuten suojellut rakennukset, kapselointi on toimiva ratkaisu.

Kuten myös ilmatiiveyden parantamisessa on kapseloinnin onnistumisen kannalta tärkeää, että kaikki rakenteen raot ja halkeamat saadaan tiivistettyä ilmavirtauksien estämiseksi¹⁴¹. Tämän lisäksi on myös käsiteltävälle pinnalle saatava riittävä kerrospaksuus kapseloivaa tuotetta, jotta epäpuhtauksien diffuusio estyy tai hidastuu riittävästi. Kapseloinnin yhteydessä on myös huomioitava läpivientien tiivistys. Haitta-aineiden hallinnassa tulee huomioida haitta-ainelähteenpitoisuus, laajuus, lähteen ja sisäilman välissä olevat vanhat rakennekerrokset, tilan käyttötarkoitus sekä erityisesti ilmanvaihto¹³³. Lisäksi on kapselointia suunniteltaessa huomioitava, että rakenteiden kuivumiskyky heikkenee hallitsemattomien ilma-voitojen poistumisen sekä diffuusiiovastusta kasvattavien materiaalien lisäämisen seurauksena¹³⁴.

Eri kapselointimateriaalien toimivuutta on tutkittu useissa tutkimuksissa. Keinänen osoitti diplomityössään, että polyamidipohjainen materiaali toimii kapselointimateriaalina kuivissa olosuhteissa välipohjien kapselointiin¹³⁵. Sievolan Sisäilmastoseminaarissa julkaistussa tutkimuksessa¹³² saatiin tulokseksi, että vähäisesti VOC -yhdisteitä läpäisevät tuotteet olivat 2-komponenttisia epoksipohjaisia kosteus- tai höyrynsulkuja. Yksi epoksipohjainen tuote läpäisi selvästi VOC-yhdisteitä, eli kaikki epoksipohjaiset tuotteet eivät sovellu VOC-yhdis-

¹³⁰ Tähtinen, K. et al. Arvorakennusten käytettävyyttä ja hyvät korjaustavat.

¹³¹ Laine, K. Rakenteiden ilmatiiveyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. s. 76.

¹³² Sievola, J. Haitta-aineiden kapselointimateriaalien jatkotutkimus ja kapseloinnin korjaustavat. s. 196-196.

¹³³ Hongisto, L. Kaksoislaattapalkiston korjausmenetelmät sisäilman laadun parantamiseksi. s. 27

¹³⁴ Keinänen, H. Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa. s. 78

¹³⁵ Keinänen, H. Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa. s. 82.

teiden kapselointiin. Rakenteisiin imeytyneen haitta-aineen kapselointia voidaan tutkimuksen mukaan käyttää esimerkiksi betonisissa ala- ja välipohjissa sekä kivirakenteisissa ulkoseinissä, mikäli materiaali soveltuu pystypinnoille levitettäväksi ja pintarakenteen alustaksi.

Muita menetelmiä

Muita sisäpuolisia korjausmenetelmiä on sisäkuoren ylimaalaus sekä halkeamien tasoitus. Maalin sekä muiden sisäkuoreen lisättävien tuotteiden vesihöyryläpäisevyys on huomioitava. Sisäilmaolosuhteiden hallinnassa oleellisena osana on myös ilmanvaihdon toiminta. Kevyenä korjaustoimenpiteenä voi toimia myös ilmanvaihdon tasapainotus sekä puhdistustoimenpiteet, jolloin ulkoseinän sisäilmavaikutusta voidaan vähentää.

4.3.3 Ulkopuoliset korjausmenetelmät

Paikkaus- ja pinnoituskorjaus

Tuulettumattoman tiilijulkisivun heikkouksia on, että tiilijulkisivu läpäisee kosteutta helposti, mutta rakenteella on huono kuivumiskyky. Tiili- tai betoni-villa-tiili rakenteisen ulkoseinän ennakoiva korjaustapa on julkisivun ulkopuolinen rappaus. Tämä on tehokas tapa parantaa seinärakenteen kosteusteknistä toimivuutta¹³⁶. Vettä pidättävä sementtirappaus tai sadevedelle tiivis silikonihartsipinnoite rappauserroksen pinnassa pienentää sisemmän seinäosan kosteuskuormitusta¹³⁷. Näin tiilimuurille saadaan enemmän käyttöikää. Samalla tulisi myös varmistaa ikkuna- ja oviliitosten tiiveys sekä kosteusteknisen toimivuuden parantaminen alentamalla kosteusrasitusta esimerkiksi suojaavilla pellityksillä ja vedenpoiston parannuksilla¹³⁸. Tämä korjaustapa on vaurioita ennalta ehkäisevä menetelmä, eikä se poista jo tapahtunutta ongelmaa. Myös laastisaumojä voidaan uusida, mikä on tiilijulkisivun osittain säilyttävä korjaustapa. Laastisaumat uusitaan vaurioituneilta alueilta 20-40 mm syvyyteen asti riippuen sauman tyypistä. Muita kerrokselliselle tiiliulkoseinälle tehtäviä korjauksia ovat leukapalkkien ja sokkelin paikkaukset ja pinnoitukset. Myös sadevesi- ja salaojajärjestelmän sekä vedenohjauksen parantamisella voidaan edistää ulkoseinän kestävyyttä ja vähentää kosteuskuormitusta.

Peittävä korjaus

Peittävällä korjaustavalla tarkoitetaan menetelmää, jossa vanha julkisivu peitetään uudella pintarakenteella, joka kiinnitetään vanhaan tiilimuriin. Tuulettumattoman tiilimuurin peittävän rakenteen ja vanhan rakenteen väliin kuuluu olennaisena osana lisälämmöneristys. Uudelleen verhoamalla estetään julkisivun varioitumisen etenemistä alentamalla kosteusrasitusta ja vanhojen rakenteiden lämpötilan nostamisella lisälämmöneristeellä. Uusi verhouksen rakenne tulee rakentaa niin, että sadevesi ei pääse vanhan julkisivun pinnalle. Näin saadaan myös estettyä pakkasrapautuminen. Verhousrakenteita voi olla levyverhous ja eristerappaus. Levyverhous toteutetaan tuulettuvana rakenteena, jolloin levyn taakse päässyt kosteus pääsee poistumaan tuuletuksen avulla. Tuulettumattomia rakenteita ovat ohut- ja kolmikerrosterappaukset. Tuulettumattomissa rakenteissa kosteusteknisen toimivuuden edellytyksenä on, että eristerappaus tehdään riittävän vesihöyrynläpäisevällä tuotteella, erilaiset

¹³⁶ Kero, P. & Pirinen, J. Ennakoivan korjaamisen kustannussäästöjen tarkastelu. s. 304.

¹³⁷ Vinha, J. et al. Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa s. 178.

¹³⁸ Lahdensivu, J. Juko – Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Muuratut julkisivut korjaustavat- yleiskuvaus. s. 6-7.

saumat- ja liitoskohdat toteutetaan kosteusteknisesti oikein ja että rappauserroksen ei pääse kuivumisesta, kosteus- tai lämpöliikkeestä syntymään halkeilua. Tuulettumattoman rakenteen vuoksi rappauserrosten tulee olla sellaiset, että rakenteessa olevan tai sinne pääsevän kosteuden kuivumaan. Toisaalta kosteusrasituksen alentamiseksi olisi hyvä, että uloin kerros ei päästäisi vettä imeytymään rakenteeseen.¹³⁹

Purku

Tyypillisesti tillijulkisivun tekninen käyttöikä on vähintään 50 vuotta¹⁴⁰. Jos ulkoseinä rakenne katsotaan olevan teknisen käyttöikänsä lopussa ei kevyemmät korjaukset välttämättä ole enää tarkoituksenmukaisia kuin korkeintaan lyhytaikaisiksi ja peruskorjaukseen saakka toimiviksi. Tässä kohtaan ulkoseinän purku ja toiminnan muuttaminen kosteusteknisesti toimivammaksi tuulettuvaksi rakenteeksi on järkevä vaihtoehto, mikäli se on esimerkiksi arkitekhtuurisesti, rakenneteknisesti sekä taloudellisesti mahdollista. Tämä vuoksi ulkoseinärakenteen eri kerrosten lämpö- ja kosteustekninen toiminta sekä mahdolliset kosteus- ja mikrobivauriot ja niiden laajuus tulee arvioida tapauskohtaisesti. Vauriot tulee arvioida tapauskohtaisesti ja jotta ulkoseinän täydellinen uusiminen olisi järkevää, on seinärakenteessa oltava useita puutteita. Korjaukset voidaan myös tehdä rajalliselle alueelle, pelkästään selvitettylle vauriokohdalle. Joskus pelkästään räystäs- ja ikkunapellityksen korjaus saattaa riittää ulkoseinään liittyvien ongelmien korjaamiseen.¹⁴¹

Purkutöissä tulee noudattaa RATU-82-0239 Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purkuohjetta. Ennen purkutöiden aloittamista on laadittava kohdekohtainen purkutyösuunnitelma, joka sisältää kohteen purku- ja siivoustyöt, jätteiden siirrot, kuljetukset ja käsittelyn, pölyntorjunnan, ympäristön ja säilytettävien rakenteiden suojauksen sekä työntekijöiden suojauksen. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purkutyöalue osastoidaan, eli korjaustyökohde ja sitä ympäröivä työskentelytila eristetään ilmastollisesti muista tiloista ja alipaineistetaan. Alipaineistuksen tarkoitus on estää purussa syntyvän mikrobipitoisen pölyn leviäminen osaston ulkopuolelle. Purettavan rakenteen ympäristö suojataan vaurioitumiselta ja likaantumiselta. Säilytettävien rakenteiden suojaaminen unohdetaan usein kokonaisvaltaisessa purussa, vaikka rakenteiden suojaaminen on loppusiivouksen kannalta ja riittävän puhtaudentaavuttamiseksi erityisen tärkeää¹⁴². Suojaustoimenpiteiden jälkeen voidaan aloittaa rakenteiden purkutyöt.¹⁴³

Ulkoseinän purkukorjauksessa kuorimuuri ja seinän lämmöneriste puretaan ja vaurioituneet rakenteet poistetaan. Sisäkuoren ulkopinta puhdistetaan ja tarvittaessa myös desinfioidaan hajun lievittämiseksi. Uusi julkisivu voidaan toteuttaa niin, että se on vanhaa vastaava versio. Näin on esimerkiksi tehtävä silloin, kun rakennukselle esitetyt vaatimukset eivät mahdollista julkisivumateriaalien muutosta. Uuden mineraalivillan ja tuulensuojamineraalivillalevyn asennuksen jälkeen uusi ulkokuori muurataan niin, että jätetään 30-50 mm tuuletusrako villan ja ulkokuoren väliin¹⁴⁴. Muuraustöissä on varmistettava, että tuuletusrako pysyy avoimena eikä tukkeudu laastipurseista, mikä heikentää kosteuden siirtymistä pois rakenteesta ja mm. muuraussiteet on kallistettava alaspäin, jotta vesi saadaan johdettua hallitusti

¹³⁹ Lahdensivu, J. Juko – Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Muuratut julkisivut korjaustavat- yleiskuvaus. s. 16-21.

¹⁴⁰ KH 90-00403 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitotaksot.

¹⁴¹ Askainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s. 198.

¹⁴² Hongisto, L. Kaksoislaattapalkiston korjausmenetelmät sisäilman laadun parantamiseksi. s. 33.

¹⁴³ RATU-82-0239. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purkuohje.

¹⁴⁴ Askainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. s.198.

kuorimuurin takaa ulos¹⁴⁵. Alimmat pystysaumot jätetään auki joka 2. tai 3. kohdalta ja muuraussiteet sekä liikuntasaumat tehdään rakennesuunnitelmien mukaisesti. Ulkoseinän uusimisen yhteydessä on myös mahdollista, että seinärakennetta julkisivumateriaaleineen muutetaan. Uuden ulkoseinän suunnittelun yhteydessä on tärkeää kiinnittää huomio liitosrakenteiden kosteusteknisestä yksityiskohtasuunnittelusta kuten sokkeli, ikkuna ja vesikaton liittymiin. Ulkopuolisen purun yhteydessä on vanha sisäkuori syytä tiivistää, sillä puhdistuksesta huolimatta, saattaa siihen jäädä epäpuhtauksia.

Julkisivu voidaan purkaa myös sisäkautta niin, että sisäkuori ja eristekerros puretaan ja uusi ulkoseinä rakennetaan sisäkautta, jolloin julkisivu jää entiselleen. Tämä on käyttökelpoinen menetelmä, jos julkisivu on säilytettävä esimerkiksi arkkitehtuurin suojelun kannalta. Betonisen sisäkuoren tapauksessa menetelmää ei kuitenkaan suositella työn vaikeuden vuoksi. Raskain menetelmä ulkoseinän uusimisessa on sen purku kokonaan niin, että ulkoseinä rakennetaan kauttaaltaan uudestaan.

4.4 Altistumisolosuhteiden arviointi

4.4.1 Altistumisolosuhteen arvioinnin lähtökohdat

Ympäristön altisteella tarkoitetaan fysikaalista, kemiallista tai biologista tekijää, jota voidaan mitata tai arvioida. Jossa ihminen joutuu altisteen alaiseksi, kutsutaan tätä altistumiseksi. Altistumisen arvioinnilla tarkoitetaan näiden haittatekijöiden ja vaarojen tunnistamista ja niille altistumisen todennäköisyyden määrittämistä. Kokonaisvaltaisemmassa altistumisolosuhteen arvioinnissa tarkastellaan piirustuksia ja muita asiakirjoja, kuten korjaus- ja huoltohistoriaa, tehdään mittauksia ja tutkimuksia sekä muita havainnointiin perustuvia menetelmiä. Tarkoituksena on saada kokonaisvaltainen kuva rakennus- ja taloteknisistä sekä sisäilman laatuun vaikuttavista tekijöistä, jotka voivat vaikuttaa altistumisen määrään, laatuun ja keston. Altistumisolosuhteen arvion perusteella tehtävää terveyshaitan arviointia voi suorittaa vain terveydensuojeluviranomainen.

Altistumisolosuhteen arvioinnin lähtökohdat ovat rakennuksen käyttäjien terveellisen ympäristön takaaminen. Terveellisen ympäristön raja-arvoja ja niiden ylittymiseen liittyvää menettelyä on määrittänyt eri lakien avulla. Terveydensuojelulain (763/1994)¹⁴⁶ tarkoituksena on väestön ja yksilön terveyden ylläpitäminen ja edistäminen sekä ennaltaehkäistä terveyshaittoja. Terveydensuojelulaissa on esitetty, että asunnon tai muun sisätilan kemialliset, fysikaaliset ja biologiset sisäympäristöolosuhteet on oltava niin, että niistä ei aiheudu asunnossa tai sisätilassa olevalle terveyshaittaa. Lisäksi, mikäli terveyttä haittaavia tekijöitä esiintyy, on näiden selvittämiseen, poistamiseen tai rajoittamiseen ryhdyttävä viipymättä. Terveydensuojelulain lisäksi on työympäristöön ja -olosuhteisiin sekä työntekijöihin liittyviä asioita pyritty ylläpitämään ja ennaltaehkäisemään työturvallisuuslailla. Työturvallisuuslaissa (789/2003)¹⁴⁷ on säädetty, että työntekijän altistuminen turvallisuudelle tai terveydelle haitallisille fysikaalisille, kemiallisille ja biologisille tekijöille on rajoitettava. Lisäksi 10 § mukaan kaikilla työnantajilla on velvollisuus selvittää, tunnistaa ja arvioida työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle aiheutuvat haitat ja vaarat. Tämä riskien arviointi ja hallinta ovat osa työpaikan turvallisuustoimintaa. Nykyisessä asumisterveysasetuksessa¹⁴⁸ (545/2015) on

¹⁴⁵ YM. Ympäristöopas 2016: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. s. 159.

¹⁴⁶ Terveydensuojelulaki 763/1994.

¹⁴⁷ Työturvallisuuslaki 738/2003.

¹⁴⁸ STM (545/2015), §3.

puolestaan esitetty, että ”Terveyshaitta on arvioitava kokonaisuutena siten, että altisteen toimenpiderajaa soveltaessa otetaan huomioon altistumisen todennäköisyys, toistuvuus ja kesto, mahdollisuudet välttyä altistumiselta tai poistaa haitta sekä poistamisesta aiheutuvat olosuhteet ja muut vastaavat tekijät”. Rakennuksen altistumisolosuhteen arviointi perustuu näiden lakien ja määräysten asettamien olosuhdevaatimusten vertailemiseen arvioitavan kohteen suhteen.

4.4.2 Altistumisolosuhteiden arviointimenetelmät

Rakennusten sisäilmasto-ongelmiin liittyvän korjaustarpeen sekä korjausten kiireellisyyden arviointi on haastavaa erityisesti suurten kiinteistömassojen omistajille, kuten kunnille ja kaupungeille¹⁴⁹. Tätä arviointia on pyritty helpottamaan altistumisolosuhteen arvioinnin avulla, jossa korjaustarvetta voidaan vertailla altistumisolosuhteen todennäköisyydellä. Altistumisolosuhteiden arviointi on osa sisäilman riskinarviointia¹⁵⁰. Tarkastelu vaatii usean osa-alueen huomioon otamisen sekä eri ammattilaisten osaamista ja perehtyneisyyttä. Kosteus- ja homevaurion tarkastelu pelkältä tekniseltä kannalta ei riitä vaurion merkittäväksi toteamiseksi, vaan tarkastelun on myös sisällettävä altistumisen todennäköisyyden arviointi¹⁵¹. Rakennuksen ja järjestelmien kunnon sekä käytön ja huollon tarkastelun lisäksi tarvitaan myös tietoa käyttäjien terveydestä ja heidän kokemuksistaan tilojen käyttämisestä¹⁵². Kokonaisvaltaisen selvityksen perusteella voidaan arvioida tilojen altistumisolosuhteita sekä niiden terveydellistä merkitystä käyttäjille. Rakennuksissa, joissa koetaan ongelmia, on monesti eritasoisia häiritseviä tekijöitä, joiden korjaustoimenpiteitä ja kiireellisyyttä on tarkasteltava erikseen. Merkittävin epäpuhtauslähde ei toisin sanoen poista muiden todettujen häiritsevien tekijöiden vaikutusta, vaan ongelmakohteissa on useita eritasoisia häiritseviä tekijöitä¹⁵³. Itse altistumisolosuhteen arviointi tehdään yleensä suuremmasta kokonaisuudesta kuten tilasta tai rakennuksesta, mutta voidaan myös tehdä tila- tai huonekohtaisesti, jos näistä on käytettävissä vastaavat tiedot kuin koko rakennusta arvioitaessa. Altistumisolosuhteen arvioinnissa on myös edelleen haasteita. Terveysperäisiä viitearvoja ei ole vielä olemassa eikä tiedetä mitkä tekijät aiheuttavat sairastumisen, eli syy-yhteyttä ei voida osoittaa. Lisäksi altistuminen voi johtua usean tekijän yhteisvaikutuksesta, mikä myös hankaloittaa arviointia.

Altistumisolosuhteen arvion tekee yleensä johtava asiantuntija, joka konsultoi kohteen eri selvityksien tekijöitä. Terveys- ja turvallisuusviranomaisien ulkopuolisten asiantuntijoiden koulutus- ja pätevyysvaatimukset ovat määritelty Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa¹⁵⁴. Mikäli kohteessa on ilmoitettu oireilua ja sairastelua, on tiedot käyttäjien kokemasta terveyshaitasta ja terveystilasta aina selvitettävä¹⁵⁵. Sisäilmaongelmakohteen terveydellisen merkityksen arvioinnin tekee sisäilmaongelmakohteisiin perehtynyt työterveyslääkäri, joka tarpeen mukaan konsultoi altistumisolosuhteita arvioineita asiantuntijoita. Työterveyslääkäri ei ota kantaa rakennustekniikkaan tai rakenteellisiin ja teknisiin seikkoihin. Altistumisolosuhteen arviointia on kehitelty viime vuosina ja tässä luvussa on esitelty TTL:n malli, joka on

¹⁴⁹ Pietarinen, V-M. et al. Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella.

¹⁵⁰ Seuri M. & Palomäki, E. Haasteellinen sisäilma. Riskianalyysi sisäilmakohteissa.

¹⁵¹ Eduskunta, Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. s.10, 62.

¹⁵² TTL. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. s. 30.

¹⁵³ Pietarinen, V-M. Altistumisen arviointi, Opetusmateriaali sisäilma-asioita opiskelevien ammattilaisten käyttöön s. 34

¹⁵⁴ Valvira, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa V.

¹⁵⁵ TTL. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. s. 30-31

tällä hetkellä kattavin ja tarkin. Vanhempia malleja ovat BS8800 sekä STM:n selvityksistä 2009:18.

BS8800-Riskiarviointi

Seuri & Palomäki ovat soveltaneet brittiläistä riskinarviointistandardin BS8800¹⁵⁶ haitan todennäköisyyden ja seurausten vakavuuden ristiintaulukointia sisäilmaongelmakohteisiin sekä myös ohjeistaneet sisäilmakohteiden riskianalyysia¹⁵⁷. Kyseisessä mallissa on kuitenkin puutteita. Malli ei ensinnäkään ota huomioon aikatekijää¹⁵⁸. Tuore kosteusvaurio ei välttämättä lisää altistumisen riskiä, kun taas pitkällä aikajänalla kostean kohtaan voi syntyä mikrobivaurio, joka heikentää sisäilmaa. Toisena puutteena taulukoinnissa on kokonaisuuden tarkastelun hankaluus, kuten eri sisäilmatekijöiden yhteisvaikutuksen tarkastelu ja yksittäisten sairaustapausten merkitys kokonaisuudelle. Pelkkien riskirakenteiden esiintyminen ilman tutkimusta niiden toiminnasta tai vaurioitumisesta ei myöskään välttämättä lisää altistumisen todennäköisyyttä, tai se, että on aikaisemmin korjattu kosteusvaurio¹⁵⁹. Korjaustoimenpiteet vaikuttavat tässä kohtaan ja millä laajuudella korjaus on suoritettu.

Kosteusvauriotyöryhmän muistio, STM:n selvityksiä 2009:18

Toinen altistumisen todennäköisyyttä arvioiva malli epätavanomaisille mikrobialtisteille sisäympäristössä on Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksestä¹⁶⁰. Sen mukaisesti terveyshaittojen riski kasvaa kosteus- ja homevaurioiden laajuuden ja ongelmakohtien määrän kasvaessa. Käyttäjien terveydentilalla on erityinen painoarvo. Riskiä kuvataan altistumistason ja todennäköisyyden sekä terveyshaittojen vakavuuden perusteella.

Tämänkin mallin epäkohdiksi voidaan katsoa se, että pelkän riskirakenteen esiintyminen lisääisi altistumisen todennäköisyyttä, ellei vaurioitumista ole tutkittu sekä se, että korjattu kosteusvaurio lisääisi altistumisen todennäköisyyttä¹⁶¹. Se, että rakenne luokitellaan riskirakenteeksi ei välttämättä tarkoita sitä, että siinä koskaan syntyisi vauriota. Monesti nämä rakenteet toimivat riskeistä huolimatta ilman ongelmia. Tärkeää on tutkia rakenteen kunto ja sen vaikutus sisäilmaan. Kosteusvauriokorjauksen onnistumisessa on myös omat riskinsä ja ongelmat saattavat jatkua korjauksienkin jälkeen. Toisaalta näkyvä kosteusvaurio ei tarkoita altistumista mikrobivauriolle ja sen takia tulee huomioda vaurion laajuus ja sijainti rakenteessa. Myös aika vaikuttaa mikrobikasvun muodostumiseen. STM:n kosteusvauriotyöryhmän muistiossa on myös kuvattu riskiluokittelua ja perustelut toimenpiteiden käynnistämistä. Sisäympäristön arviointi tulisi aina suorittaa kokonaisuutena, jossa huomioidaan sisäympäristötekijät, koettu sisäympäristö sekä toimintatavat rakennuksen ylläpidossa, sisäympäristöongelmien tunnistamisessa ja hallinnassa.¹⁶²

¹⁵⁶ BS 8800:fi. Ohje työterveys- ja turvallisuusjohtamisjärjestelmistä. s. 64.

¹⁵⁷ Seuri M. & Palomäki, E. Haasteellinen sisäilma. Riskianalyysi sisäilmakohteissa. s. 24 ja 104.

¹⁵⁸ Seuri M. & Palomäki, E. Haasteellinen sisäilma. Riskianalyysi sisäilmakohteissa. s. 103.

¹⁵⁹ Pietarinen, V-M., Altistumisen arviointi, Opetusmateriaali sisäilma-asioita opiskelevien ammattilaisten käyttöön. s. 24.

¹⁶⁰ STM selvityksiä 2009:18. Kosteusvauriotyöryhmän muistio, Kosteusvauriot työpaikoilla. s. 50.

¹⁶¹ Pietarinen, V-M., Altistumisen arviointi, Opetusmateriaali sisäilma-asioita opiskelevien ammattilaisten käyttöön.

¹⁶² STM selvityksiä 2009:18. Kosteusvauriotyöryhmän muistio, Kosteusvauriot työpaikoilla. s. 51.

Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen, Työterveyslaitos

Työterveyslaitos on 2016 julkaissut teoksen 'Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen' missä on koottu ohjeistus altistumisolosuhteen arvioinnille. Arviointimalli perustuu aikaisemmin julkaistuun Sisäilmastoseminaariraporttiin¹⁶³. Altistumisolosuhteen arviointi aloitetaan ongelman määrittelystä tutkimuskohteesta saatavien tietojen perusteella. Vasta ongelman määrittämisen jälkeen voidaan laatia suunnitelma ongelman ratkaisemiseksi. Arvio tehdään tilakohtaisesti ja sen käyttötarkoituksen mukaan, sillä erilaisissa toimintaympäristöissä on mahdollista todeta sisäilmalaadun eri tasoja^{164, 165}.

Työterveyslaitoksen altistumisolosuhteiden arviointi on jaettu neljään osa-alueeseen, joita tarkastellaan, kun muodostetaan altistumisolosuhteen arviointia. Arvioinnissa huomioidaan päästölähteiden laajuus ja voimakkuus, sijainti ja ilmayhteyden sisäilmaan, muut epäpuhtauksien leviämiseen vaikuttavat tekijät, tilan käyttötarkoitukset sekä altistumisaika. Osa-alueet ovat:

1. Rakenteiden mikrobivaurioiden laajuuden arviointiin
2. Ilmayhteys ja ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä sisäilmaan sekä rakennuksen paine-erot
3. Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisäilman laatuun
4. Rakennuksesta peräisin olevat sisäilman epäpuhtaudet

Altistumisolosuhteiden arviointi tehdään merkittävimmän sisäilmaan vaikuttavan epäpuhtauslähteen mukaan ja arviointia voidaan käyttää korjausten kiireellisyyden arviointiin. Tavanomaisesta poikkeava altistumisolosuhde on silloin kun tarkasteltavassa ympäristössä on enemmän epäpuhtauslähteitä kuin samankaltaisessa toimintaympäristössä.

Menetelmän haasteena on kokonaisuuden hallinta, altisteiden yhteisvaikutusten arviointi ja yksittäisen tilan huomioiminen.

1. Rakenteiden mikrobivaurioiden laajuuden arviointi

Mikrobivaurioiden laajuuden arviointi suoritetaan rakennekosteusmittauksilla, rakeneavauksilla, olosuhdeseurannalla ja materiaalinäytteiden mikrobiologisilla analyyseillä, joiden perusteella tehdään päättely rakenteen kokonaishaitallisuudesta. Kun arvioidaan mikrobivaurion merkitsevyyttä sisäilman laadun kannalta, huomioidaan vaurioon laajuus (yksittäinen huone, koko rakennus, koko rakenne, vai paikallinen vaurio) ja ilmayhteyden sisätilaan. Taulukossa 7 kuvataan rakenteessa olevien mikrobivaurioiden laajuuden arviointikriteereitä.

¹⁶³ Pietarinen, V-M. et al. Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella.

¹⁶⁴ Pietarinen, V-M. Altistumisen arviointi, Opetusmateriaali sisäilma-asioita opiskelevien ammattilaisten käyttöön. s.32

¹⁶⁵ TTL. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. s. 30-38.

Taulukko 7. Mikrobivaurioiden laajuuden arviointikriteereitä.

1. Rakenteessa ei ole mikrobivaurioita
<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksessa ei ole mikrobivaurioituneita rakenteita tai rakenteissa on esiintynyt paikallisia kosteusvaurioita, mutta rakenteet on korjattu ennen kuin mikrobikasvu on alkanut, esim. akuutti vesivuoto
2. Rakenteessa on helposti rajattavia ja korjattavia mikrobivaurioita
<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksessa on yksittäisiä rakenteita, joissa on todettu mikrobivaurioita. Mikrobivaurioitunutta rakenneratkaisua ei esiinny laaja-alaisesti ja korjaukset ovat helposti rajattavissa (alle 1 m²)
3. Rakenteessa on laajoja mikrobivaurioita
<ul style="list-style-type: none"> Rakenteissa on laaja-alaisia mikrobivaurioita ja rakenteiden korjauslaajuus on merkittävä ja koskee koko rakennusosaa tai suurta osaa siitä (esim. alapohjarakenne).
4. Rakennuksessa on useita mikrobivaurioituneita rakenteita ja korjauslaajuus on merkittävä useassa rakennusosassa
<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksessa on useita eri rakenteita, joissa on todettu laaja-alaisia mikrobivaurioita, ja rakenteiden korjauslaajuus koskee useita eri rakennusosia (esim. julkisivu, alapohja).

2. Ilmayhteys ja ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä sisäilmaan sekä rakennuksen paine-erot

Arviointi rakenteen epäpuhtauksien vaikutuksesta ja kulkeutumisesta sisäilmaan suoritetaan tarkastelemalla tiiveyttä sekä mahdollisia ilmavuotoreittejä. Rakenteen epäpuhtauksia saat-
taa kulkeutua rakenneliitoksien ja läpivientien kautta, mikäli rakennuksessa tai sen osassa on suuri alipaine. Taulukossa 8 on kuvattu arviointikriteereitä epäpuhtauslähteiden ja sisäil-
man välisestä ilmavuotoreiteistä sekä rakennuksen paine-eroista. Rakenteiden ilmavuotoja
voidaan tutkia esimerkiksi lämpökuvauksella, merkkiainekokeilla, ilmapitävyysmittauk-
silla, ilmanäytteillä ja aistinvaraiset havainnot voivat toimia tutkimusten tukena. Tutkimus-
menetelmiä on kuvattu tarkemmin luvussa 2.4.

Taulukko 8. Epäpuhtauslähteiden, ilmavuotoreittien ja paine-eron arviointikriteerejä.

1. Ei ilmavuotoreittejä epäpuhtauslähteistä sisäilmaan
<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksen paine-erot ovat hallinnassa ympäröiviin tiloihin ja ulkoilmaan nähden. Rakennuksen tilan ilmapitävyys on hyvä
2. Yksittäisiä/vähäisiä ilmavuotoreittejä rakenteiden tai ympäröivien tilojen kautta si- säilmaan
<ul style="list-style-type: none"> Ilmavuotoreitit eivät ole rakenteissa säännöllisiä, ja ne ovat yksittäisiä pieniä epätiiveys- kohtia tai yksittäisiä epätiiviyttä rakenneliitoksia Ilmanvaihtojärjestelmällä pystytään hallitsemaan tilojen paine-eroja ympäröiviin tiloihin ja ulkoilmaan nähden.

<ul style="list-style-type: none"> • Paine-erot eivät muutu merkittävästi tilojen käyttöajan ulkopuolella. • Rakennuksen tai tilan ilmapitävyys on lievästi riskialtis
3. Ilmavuotoreitit rakenteissa tai epäpuhtauslähteestä ovat säännöllisiä
<ul style="list-style-type: none"> • Sisäilmaan on säännöllisiä ilmavuotoreittejä vaurioituneista rakenteista tai tilasta, jossa materiaaleissa tai rakenteissa on todettu mikrobivaurioita. • Rakennuksen paine-erot eivät ole hallinnassa, ja tilat ovat ajoittain alipaineisia ympäröiviin tiloihin tai ulkoilmaan nähden • Rakennuksen tai tilan ilmanpitävyys on riskialtis.
4. Ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä ovat säännöllisiä ja tilat ovat merkittävästi alipaineisia tai rakenteen ilmapitävyys on erittäin riskialtis
<ul style="list-style-type: none"> • Ilmavuotoreitit rakenteista tai epäpuhtauslähteestä ovat säännöllisiä ja niitä on useita. • Tilat ovat merkittävästi alipaineisia ympäröiviin tiloihin tai ulkoilmaan nähden yhtäjaksoisia aikoja tilojen käytön aikana ja/tai käyttöajan ulkopuolella. • Rakennuksen tai tilan ilmanpitävyys on erittäin riskialtis.

3. Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisäilman laatuun

Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutukset sisäilmanlaatuun voidaan arvioida taulukon 9 mukaisesti. Arvioon vaikuttavat tekijät ovat järjestelmän puhtaus, toimintakunto ja ilmamäärien riittävyys. Ilmanvaihdon tulee täyttää ilmanvaihdolle asetetut määräykset, asumisterveysasetuksen 545/2015 ja sen soveltamisohjeen vaatimukset. Ilmanvaihdon toimivuutta arvioidaan sekä silmämääräisesti että mittaamalla esimerkiksi tulo- ja poistoilmamäärät. Ilmanvaihdon kunnon määrittelyä on käsitelty tarkemmin luvussa 2.4.

Taulukko 9. Ilmanvaihtojärjestelmän arviointi.

Oikein mitoitettu ja toimiva ilmanvaihtojärjestelmä edistää hyvää sisäilman laatua	Huonokuntoinen, toimimaton tai väärin mitoitettu ilmanvaihtojärjestelmä voi heikentää sisäilmalaatua.
<ul style="list-style-type: none"> • Ilmavirrat vastaavat rakentamismääräyskokoelman D2:ssa annettuja ohjearvoja tilojen käyttötarkoitukselle. • Ilmanvaihtojärjestelmässä ei ole sisäilman epäpuhtauslähteitä. • Ilmanvaihtokoneiston tuloilman suodatustaso vastaa rakentamismääräyskokoelman D2 ohjeita. • Ilmanvaihtojärjestelmän toimintakunto on hyvä, ja järjestelmää huolletaan säännöllisesti. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmavirrat eivät vastaa rakentamismääräyskokoelman D2:ssa annettuja ohjearvoja tilojen käyttötarkoitukselle. • Ilmanvaihtojärjestelmässä on mineraalivillakuitulähteitä, josta voi irrota kuituja sisäilmaan. • Ilmanvaihtokanavistossa on käytetty asbestia sisältäviä materiaaleja ja tuloilmakanavan pinnoilla ja/tai työ- ja oleskelutilojen pinnoilla on todettu asbestikuituja. • Järjestelmässä on todettu mikrobilähteitä tai järjestelmän huoltoon puutteellista ja se on erittäin likainen.

4. Rakennuksesta peräisin olevat muut sisäilman epäpuhtaudet

Rakennuksesta peräisin olevat epäpuhtauslähteet selvitetään eri rakennus- tai taloteknisillä selvityksillä. Epäpuhtauslähteitä ovat mm. haitta-aineet, kuidut sekä kemialliset päästöt.

5. Altistumisolosuhteen arvio

Altistumisolosuhteen arvio tehdään taulukoiden 7-9 sekä yhteenvetotaulukon 10 mukaisesti. Kaikkien kohtien ei tarvitse täyttyä, vaan arvio tehdään merkittävemmän sisäilman laatuun vaikuttavan tekijän mukaan taulukoista 7 ja 8 ja lopullisessa altistumisolosuhteen arvioinnissa taulukossa 10. Altistumisolosuhde määritellään epätodennäköiseksi, mahdolliseksi, todennäköiseksi tai erittäin todennäköiseksi. Arviointi tehdään kerros- tai rakennuskohtaisesti ja johtopäätöksissä huomioidaan yksittäiset tilat. Jos haitallinen altistumisolosuhde on todennäköinen tai erittäin todennäköinen on arvioitava myös toimenpidetarve.

Taulukko 10. Altistumisolosuhteen arviointi. ¹⁶⁶

Haitallinen altistumisolosuhde epätodennäköinen
<ul style="list-style-type: none">• Rakennuksessa ei ole todettu mikrobivaurioituneita rakenteita.• Epäpuhtauslähteistä ei ole ilmavuotoreittejä työ- tai oleskelutiloihin.• Tilan akustiikkamateriaaleissa tai ilmanvaihtojärjestelmässä ei ole mineraalivillakuitulähteitä, joista voi irrota kuituja sisäilmaan.• Käytössä olevat rakennusmateriaalit ja kalusteet ovat M1-luokiteltuja.• Sisäilman laatu vastaa tilan käyttötarkoitukselle asetettuja viite- ja ohjearvoja.
Haitallinen altistumisolosuhde mahdollinen
<ul style="list-style-type: none">• Rakenteissa on helposti rajattavia ja korjattavia mikrobivaurioita, vauriokorjaukset ovat alle 1 m².• Epäpuhtauslähteistä on todettu ilmavuotoreittejä työ- tai oleskelutilojen sisäilmaan.• Tiloissa ja/tai ilmanvaihtojärjestelmässä on mineraalivillakuitulähteitä, joista voi irrota kuituja sisäilmaan.• Betonilattiarakenteissa on todettu poikkeavaa kosteutta, jonka seurauksena on todettu paikallisia pinnoitevaurioita (emissiopäästöt).• Tilan käyttötarkoituksen perusteella asetetut sisäilman laadun viite- ja ohjearvot ylittyvät. (Ongelman laajuus on arvioitava altistumisolosuhteen arvioinnissa; koko rakennus/kerros/yksittäinen tila)

¹⁶⁶ TTL. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. s. 36-37

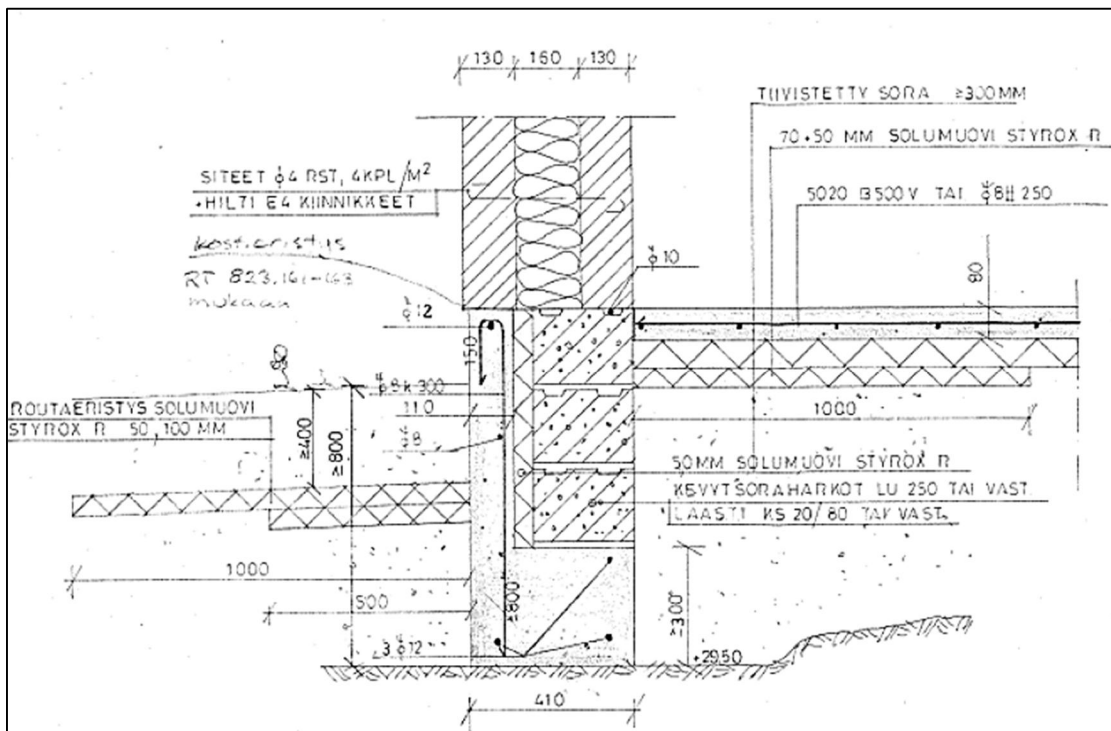
Haitallinen altistumisolosuhte todennäköinen
<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksessa on laaja-alisia mikrobivaurioita, korjauslaajuus on merkittävä ja se koskee koko rakennusosaa tai suurta osaa siitä (esim. alapohjarakenne). Vaurioituneista rakenteista tai epäpuhtaammasta tilasta on säännöllisiä ja useita ilmavuotoreittejä työ- tai oleskelutilan sisäilmaan. Tilan käyttötarkoituksen perusteella asetetut laadun viite- ja ohjearvot ylittyvät ja sisäilman epäpuhtauslähde on todettu ja paikallistettu. (Ongelman laajuus on arvioitava altistumisolosuhteen arvioinnissa; koko rakennus/kerros/yksittäinen tila) Rakenteessa on käytetty kreosoottia, epäpuhtauslähteestä on ilmayhteys sisäilmaan ja työ- tai oleskelutilojen sisäilmassa on kreosoottiin viittaava haju. Sisäilman raadonpitoisuudet ylittävät Suomen rakentamismääräyskokoelmassa esitetyt ohjearvot ja säteilyasetuksen toimenpiderajan.
Haitallinen altistumisolosuhte erittäin todennäköinen
<ul style="list-style-type: none"> Rakennuksessa on useita eri rakenteita, joissa on todettu laaja-alaisia mikrobivaurioita ja rakenteiden korjauslaajuus on merkittävä useassa rakennusosassa (esim. julkisivu tai alapohja). Ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteistä ovat säännöllisiä ja niitä on useita. Tilat ovat merkittävästi alipaineisia tai rakenteen ilmapitävyys on erittäin riskialtis. Sisäilman laatu ei täytä rakentamismääräyskokoelma D2:n vähimmäisvaatimuksia. Tilan käyttötarkoituksen perusteella asetetut sisäilman laadun viite- tai ohjearvot ylittyvät ja sisäilman epäpuhtauslähde on todettu ja paikallistettu. (Ongelman laajuus on arvioitava altistumisolosuhteen arvioinnissa; koko rakennus/kerros/yksittäinen tila) Rakenteessa on todettu kreosoottia ja siitä on ilmayhteys sisäilmaan. Lisäksi sisäilmassa on todettu viitearvoja suurempia pitoisuuksia PAH-yhdisteitä. Tilojen pölynäytteissä on todettu asbestikuituja, ja tiloissa on todettu asbestikuitulähteitä. Sisäilman radon pitoisuudet ylittävät Suomen rakentamismääräyskokoelmassa esitetyt ohjearvot ja säteilyasetusten toimenpiderajan.

5 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät

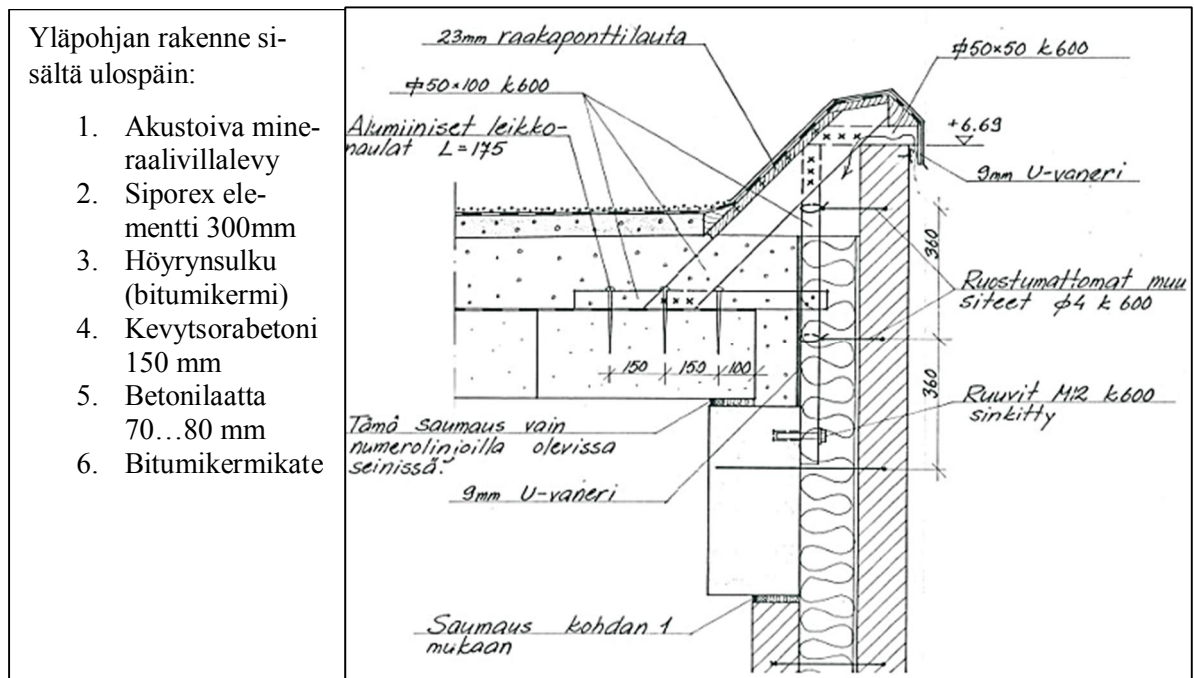
5.1 Tutkimuskohteet

Diplomityön tutkimus perustuu Helsingin kaupungin toimittamaan sähköisen järjestelmän aineistoon. Tutkimukseen valikoitui 18 kohdetta (esitetty tunnuksilla A...R), joista 14 on osittain tai kokonaan koulurakennuksia, kahdeksan osittain tai kokonaan päiväkoteja sekä nuoris- ja monitoimitaloja, joihin sisältyy esimerkiksi kirjastoja. Rakennuksista kuusi on rakennettu 60-luvulla, neljä 70-luvulla ja viisi kappaletta 80-luvulla. Lisäksi kaksi rakennusta on 90-luvun alkupuolelta ja yksi 50-luvun lopulta, mutta kyseisten rakennusten ulkoseinärakenne täyttää tutkimuksen kriteerit tuulettumattomasta tiilirakenteesta.

Kohteiden yleisin ulkoseinärakenne on tiili-mineraalivilla-tiili, jossa ulkokuori on poltetusta tiilestä ja sisäkuori joko poltetusta tai kalkkihiekkatiilestä. Noin puolessa kohteista on tiilinen sisäkuori, 20 % rakennuksista ovat betoni-sisäkuorisia ja noin 30:ssä % kohteista on sekä tiili- että betonisisäkuori. Ikkunoiden ylä- ja alapuolella on käytetty myös erilaisia kevyitä levyrakenteita. Kohteiden yleisin alapohjarakenne on maanvastainen, kuten kuvassa 25 on esitetty, mutta ryömintätilallisia sekä molempia alapohjarakenteita sisältäviä kohteita on myös. Noin puolessa kohteista on bitumikermikatteinen loiva tai tasakatto esimerkiksi kuvan 26 mukaisesti. Lopuissa kohteissa on harja- tai pulpettikattoa peltikatteella tai näiden yhdistelmiä.



Kuva 25. Esimerkki ulkoseinärakenteen ja alapohjan liitoksesta, kohde I. Rakennusvuosi 1980. Perusmuurissa on käytetty kevytsoraharkkoa, jolloin ilmatiiveys maaperään päin on todennäköisesti huono.



Kuva 26. Bitumikermikatteisen tasakattorakenteen räystääsluotos ulkoseinärakenteeseen, kohde H. Rakennusvuosi 1984.

Pinta-alaltaan kohteet vaihtelevat noin välillä 1 000 m²-9 300 m² ja kerroksia rakennuksissa on pääasiassa kaksi. Suurimmassa osassa kohteista on alun perin painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä korjattu koneelliseksi tulo-poistoilmanvaihdoksi tutkimuksen tarkastelujakson aikana. Kahdessa kohteessa tuloilma tuodaan tuloilmaventtiileistä ja yhdessä on tutkimusajanjakson aikana painovoimainen ilmanvaihto.

Kohteissa on pääsääntöisesti tehty useita tutkimuksia ja selvityksiä, joista monet ovat suppeita ja lähinnä yksittäisten huonetilojen olosuhteiden tai aistinvaraista tarkastelua. Tutkimusmateriaalin perusteella kohteissa on kaikkiaan tehty keskimäärin noin 11-12 eri tyyppistä tutkimusta ja selvitystä. Tutkimusmäärän vaihtelu on välillä 3-24. Toisaalta on myös tiedossa, että tästä otannasta puuttuu joitakin tutkimuksia, joten keskiarvo on vain suuntaa antava. Ulkoseinään kohdistuvia tutkimuksia on kohteissa tehty keskimäärin noin viisi. Liitteissä (liite 1) on koottu kohteiden perustiedot sekä tehdyt tutkimukset taulukkoon. Tutkimusfrekvenssi on keskimäärin ollut noin 1,45 tutkimusta vuodessa, joista ulkoseinään tai siihen liittyviä tutkimuksia on noin puolet. Tarkasteltuja tutkimuksia on keskimäärin tehty kymmenen vuoden aikana. Tähän työhön liittyvät vanhimmat tutkimukset ovat 1990-luvun lopulta ja uusimmat vuonna 2017 suoritettuja.

5.2 Tutkimusmenetelmät

5.2.1 Ulkoseinärakenteelle tehdyt tutkimukset ja toimenpidesuosituks

Tässä diplomityössä on tutkittavien kohteiden kuntotutkimusraportteja tarkasteltu ulkoseinärakenteen ja siihen liittyvien rakenteiden tutkimusten suhteen. Tehdyistä raporteista analysoidaan tutkimuslaajuudet, mitä havaintoja tutkimuksessa on tehty ja näiden perusteella

tehdyt toimenpidesuosituksset. Ulkoseinärakenteen vaikutusta rakennuksen altistumisolosuhteen arviointiin on toteutettu TTL:n ohjeiden mukaisesti. Arviointiin vaikuttavat osatekijät ovat:

1. onko ulkoseinärakenteesta otettu materiaalinäytteitä,
2. onko ilmayhteyksiä ulkoseinärakenteen tai siihen liittyvien rakenteiden kautta sisäilmaan
3. millaiset painesuhteet vaikuttavat ulkovaipan yli ja miten se on mitattu
4. onko muita epäpuhtauslähteitä, kuten mineraalivillaa sisäilmaan
5. onko poikkeavaa pintamateriaalien vaurioita havaittavissa esimerkiksi pintakosteuskartoituksella tai aistinvaraisesti

Tämän lisäksi kiinnitetään huomiota siihen, onko tutkimuksissa otettu kantaa julkisivun ja ulkoseinärakenteen kuntoon vähintään silmämääräisesti tai aistinvaraisesti vai onko tutkimus painottunut vain sisäpuolisiin tarkasteluihin ja tutkimuksiin.

Työssä tarkastellaan korrelaatiota tutkimuslaajuuksien ja toimenpidesuosittelun välillä, eli kuinka suppeilla tai laajoilla tutkimuksilla esitetään kevyitä tai raskaita korjausehdotuksia, ja onko johtopäätökset tehty yksittäisen tilan vai koko rakennuksen perusteella. Ulkoseinärakenteelle kohdistettujen tutkimusten laajuuteen on sovellettu seuraavaa jaottelua:

1. Suppea tutkimusten suhteen = Tutkimus sisältää vain yksittäisiä tutkimusmenetelmiä tai ne ovat hyvin suppeasti toteutettuja.
2. Suppea tutkittujen tilojen suhteen = Tutkimus on koskenut vain yksittäistä tilaa tai osaa rakennuksesta. Mikäli tutkittuja tiloja on vähän, mutta ne ovat jakautuneet ympäri rakennusta, on tutkimuslaajuus katsottu kuuluvan muuhun ryhmään tutkimuslaajuuden perusteella, sillä näin on saatu havaintoja useammalta alueelta.
3. Melko kattava = Tutkimus sisältää edellä mainituista kohdista muutamia kohtia, mutta kaikki eivät sisälly tai ovat suppeasti tehty.
4. Laaja = Laaja tutkimus sisältää kaikki tai lähes kaikki edellä mainitut neljä osa-aluetta. Lisäksi tutkimus sisältää aistinvaraisia havaintoja. Tutkimuksen perusteella saadaan kattava kuva tutkitun rakennuksen rakenteellisesta kunnosta. Tutkimus kattaa koko rakennuksen tai antaa kuvan koko rakennuksesta. Muiden epäpuhtauslähteiden tutkiminen on rajattu analyysin ulkopuolelle, koska niiden osuus ulkoseinärakenteen vaikutuksista on suppeampi. Muut epäpuhtaus lähteet on tutkimuksissa liitetty useammin esimerkiksi ilmanvaihtoon ja pintamateriaaleihin kuin ulkoseinään.

Osa tutkimuksista on laajuuksien suhteen rajatapauksia. Tutkimukset on käsitelty kohdekohtaisesti Tutkimusten analysointi – taulukossa (liite 2), jossa edellä mainitut kriteerit on kirjattu tutkimuksittain.

5.2.2 Ulkoseinän näytteenottopaikat ja mikrobianalyysitulokset

Yhtenä tekijänä kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen tutkimusten analysoimisessa on materiaalinäytteiden otto, niiden lukumäärä, sijainti sekä analyysitulokset. Tässä tutkimuksessa on koottu yhteen tiedot eri tutkimusten mikrobianalyyseistä. Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen mikrobitutkimuksen suorittamiseen löytyy ohjeita, mutta näytteiden määrään ja sijainnin valitsemiseen ei ole selvää ohjeistusta, joten tutkimuslaajuudet vaihtelevat suuresti.

Kohteessa tehtyjen materiaalinäytteiden analyysitulokset on koottu taulukkoon, joka löytyy liitteistä 3. Taulukossa on esitetty näytteiden lukumäärän lisäksi näytteenottokohta, ilmansuunta sekä värikoodilla onko näytteessä viite kasvuun vai ei perustuen Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen¹⁶⁷ sekä Asumisterveysohjeen¹⁶⁸ raja-arvoihin mikrobikasvulle seuraavasti:

Punainen=Vahva viite kasvuun

Keltainen=Viittaa/ heikko viite kasvuun

Vihreä=Ei viitettä kasvuun

Ne näytteet, jossa on analyysituloksen perusteella ainoastaan korkea bakteeripitoisuus, on tulkittu heikoksi viitteeksi. Alla taulukossa 11 on esimerkki liitetaulukosta (liite 3).

Taulukko 11. Ote liitetaulukosta (liite 3), jossa näkyy näytteidenottokohdat ja ilmansuunnat sekä määrät per kasvuvite.

Kohde	US , yläosa			
A	Koillinen	Kaakko	Lounas	Länsi
	2	2	3	3

Liitetaulukon lukua helpottamiseksi ne ilmansuunnat, josta näytteitä on otettu, on kohta merkitty oranssilla ja ne, josta ei, on merkitty harmaalla. Taulukossa näytteenottokohdat on jaoteltu sen mukaan, onko näyte otettu ulkoseinän ylä- vai alaosa, ikkunaliittymästä esim. ikkunakarmista tai tilkkeestä vai muusta ulkoseinään liittyvästä rakenteesta, kuten sokkelista. Ulkoseinä on jaettu niin, että alaosa on tulkittu yksikerroksisessa rakennuksessa ikkunan alapuolinen osa, ja korkeammassa julkisivussa jako on tehty kerroksien mukaan. Taulukossa 12 on esimerkki liitetaulukosta (liite 3).

Taulukko 12. Ote liitetaulukosta (liite 3). Ilmansuunnat on väritetty oranssilla ja harmaalla sen mukaan, onko näytteitä otettu vai ei. Mikäli rakenneosasta ei ole otettu yhtään näytteitä, on solut jätetty tyhjäksi ja väritetty harmaalla.

Kohde	US , yläosa				US, alaosa			
C	Pohjoinen	Itä	Etelä	Länsi				
	2	1	3	1				

Taulukon avulla analysoidaan saatu tulosfrekvenssi. Lisäksi mikrobitutkimuksia hyödynnetään tutkimusten analysointi osuudessa, jossa tarkastellaan mitä toimenpidesuosituksia on

¹⁶⁷ Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016, Osa IV. s. 8-9.

¹⁶⁸ STM. Asumisterveysohje 2003: asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. s. 76.

näytteiden analyysitulosten perusteella annettu, kuten onko mikrobikasvuun viittaavat näytteet johtopäätöksissä syy julkisivun purkuun. Muita tekijöitä, joihin kiinnitetään huomiota, ovat materiaalinäytteiden analysointimenetelmät sekä analyysilaboratorion pätevyys näytteiden analyysien suorittamiseen, (liite 3).

Kaikki tutkimusaineiston materiaalinäyteanalyysit ovat vuosilta 2002-2015, jolloin on sovellettu aikaisempia voimassa olleita viitearvoja mikrobikasvulle. Lähtökohtaisesti tässä työssä on arvioitu mikrobinäytteiden tuloksia, kuten niitä on raportin teon aikaan tulkittu. Tuloksissa on huomioitu myös ne analyysitulokset, jotka nykyään tulkittaisiin eri tavalla.

5.2.3 Ulkoseinärakenteen vaikutus altistumisolosuhteen arvioon

Diplomityössä arvioidaan kerroksellisen ulkoseinärakenteen vaikutusta altistumisolosuhteisiin soveltaen TTL:n 2016 laatimaa ohjeistusta, jolloin voidaan tarkastella ulkoseinärakenteelle tehtävää korjaustarvetta, laajuutta ja arvioida korjaustoimenpiteiden kiireellisyyttä. TTL:n ohje altistumisolosuhteen arvioimiselle on esitetty tarkemmin luvussa 2.7.2.

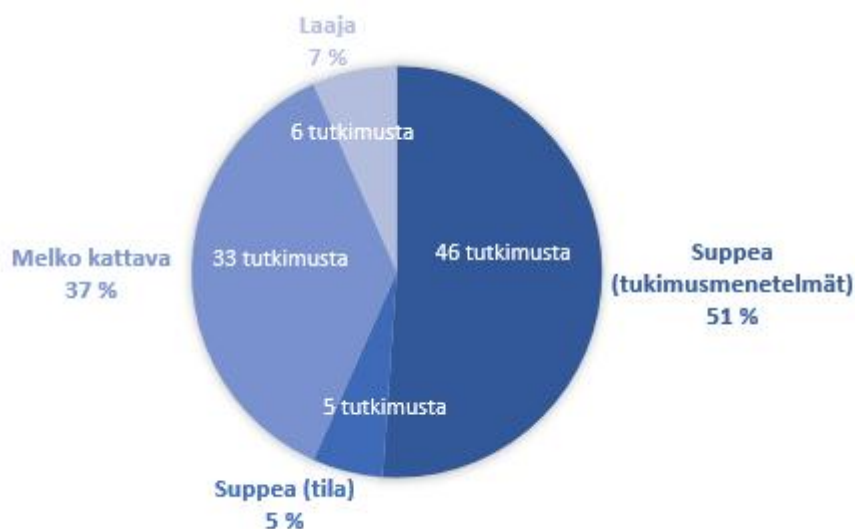
Tutkimus on suoritettu muodostamalla Tutkimusten Analysointi-taulukko (liite 2) TTL:n altistumisolosuhtearviokriteerejä hyödyntäen. Niille tutkimuksille, jotka tutkimuslaajuuksien puolesta täyttävät kaikki tai lähes kaikki taulukon kohdat, on suoritettu altistumisolosuhteen arviointi. Tutkimustaulukossa (liite 2) analysoidut tutkimukset on korostettu tummentamalla ”Tutkimus”-sarakkeen teksti. Altistumisolosuhteen arvioon on myös huomioitu aikaisemmin tehtyjen tutkimusten havainnot. Huomioitavaa on kuitenkin, että tutkimushavainnot ennen ulkoseinän toimintaan vaikuttavia korjaustoimenpiteitä on jätetty huomioimatta, sillä korjaustoimenpiteiden oletetaan muuttaneen olosuhteita. Altistumisolosuhteen arvio muodostetaan myös niin, että se kuvastaa mahdollisten ulkoseinä- tai julkisivukorjausten aikaisempaa tilaa. Näin ulkoseinälle tai sisäkuorelle suunniteltujen tai tehtyjen korjaustoimenpiteiden johdonmukaisuutta voidaan myös tarkastella haitallisen altistumisolosuhteen kannalta.

6 Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu

6.1 Ulkoseinärakenteen tutkimukset ja raportointi

6.1.1 Ulkoseinärakenteen tutkimusten sisältö

Ulkoseinää käsitteleviä tutkimuksia havainnoitiin Tutkimusten analysointi – taulukon avulla (liite 2). Siihen on koottu ne tutkimusraportit, jotka käsittelevät jollain tavalla luvussa 3.2.1 määriteltyjä kohtia. Monissa kohteissa on tehty useita tutkimuksia, mutta joista vain noin puolet käsittelevät suoranaisesti tai osittain ulkoseinärakennetta. Tutkimusaineistosta kohteiden ulkoseinärakennetta käsitteleviä tutkimuksia on yhteensä 90. Kuvaajassa 1 on esitetty tutkimuslaajuuksien jakauma.



Kuvaaja 1. Tutkimuslaajuuksien prosentuaaliset osuudet kokonaisotoksesta.

Vaikka diplomityön tutkimusotannasta yli puolet tutkimuksista oli suppeita tutkimuksia ja selvityksiä, oli kohteiden välisissä tutkimuslaajuuksien suhteissa vaihtelua havaittavissa. Taulukossa 13 on esitetty suppeiden ulkoseinää käsittelevien tutkimusten prosentuaalinen osuus kohteiden kokonaistutkimusmäärästä. Taulukosta voidaan havaita, että kahdeksassa kohteessa on yli 50 % kokonaistutkimusmäärästä suppeita tutkimuksia. Ulkoseinää käsitteleviä tutkimuksia on enimmäkseen tehty koko rakennusta tarkastellen ja tilakohtaisia tutkimuksia on tehty ainoastaan neljässä kohteessa.

Taulukko 13. Tutkittavien kohteiden suppeiden tutkimusten osuus kohteen kaikista ulkoseinää käsittelevistä tutkimuksista.

Suppeiden tutkimusten osuus kaikista tutkimuksista	0 %	25 %	40 %	50 %	60 %	67 %	86 %	100 %
Kohteiden lukumäärä, joissa suppeita tutkimuksia	1	3	1	5	3	2	2	1

Tutkimusten lähtötilanne on monesti ollut sisäilmaan yhdistettävä oireilu, hajuhavainto tai selkeä rakenteellinen vaurio, kuten vesivahinko. Myös tutkimusten toimenpidesuosituksissa esitetyt jatkotutkimustarpeet havaittiin olevan perusteita uusille tutkimuksille. Tutkimuskoh-teissa suoritettut tutkimukset ja niiden sisällöt eroavat niin sisällöllisesti laajuuden ja mene-telmien kuin myös tutkimusmäärien suhteen. Diplomityössä havaittiin, että ulkoseinäraken-teelle kohdistuvat tutkimukset koostuvat pääsääntöisesti taulukossa 14 esitetyistä osa-alu-eista.

Taulukko 14. Suoritettujen tutkimusten määrät.

Tutkimusmenetelmä	Tutkittuja kohteita	Tutkimuksia kaikkiaan
Sisäpuoliset		
Aistinvaraiset havainnot	18	47
US pintakosteusmittaus	6	12 (joista 1 rakennekosteusmittaus)
Lämpökuvaus	8	10
Painesuhteet	17	39
Jatkuvatoiminen (1-10 vrk)	10	21
Hetkellinen	8	13
IV ilmamäärämittaus	4	4
Merkkiainetutkimus	16	33
US ja liittyvät rakenteet	16	30
Alapohja	3	4
Ulkopuoliset		
Aistinvaraiset havainnot	17	41
Kattavia julkisivututkimuksia (pääasiassa havainnoitu julkisi- vua ja sen rakenteellista kun- toa)	6	6
Kevyempiä tarkasteluja	17	35
Julkisivunmateriaalien analyys- sejä	4	4
Materiaalinäytetutkimukset (sisäpuolelta otettuja 7 ja mo- lemmista 3)	16	31

Lisäksi on suoritettu myös muita sisäilmanolosuhdemittauksia, kuten hiilidioksidimittauksia ja sisäilman näytteenottoja sekä liittyvien rakenteiden tutkimuksia, kuten vesikaton tutki-mukset.

Tutkimusaineistoa läpikäydessä havaittiin myös, että tutkimuksien sisältämät osuudet ja painopisteet vaihtelevat eri toimijoiden välillä. Havaittuja eroavaisuuksia ovat esimerkiksi painesuhteiden tutkimisessa, jossa mittausajanjakso vaihtelee hetkellisistä 10 vuorokauden jatkuvatoimiseen mittaukseen, sekä onko paine-eroa ylipäättänsä mitattu osana laajempaa tutkimusta. Myös rakenteiden tarkastelussa oli havaittavissa eroavaisuuksia, kuten miten paljon tarkastelu painottui riskirakenteiden luettelemiseen rakennepiirustuksista verrattuna siihen, miten paljon niitä varsinaisesti tutkittiin tai analysoitiin kohteessa. Myös aistinvarais-ten tarkasteluiden suorittaminen osana laajempaa tutkimusta vaihteli laajoista havainnoista

hyvin suppeisiin. Tutkimusotannassa esiintyy myös kohteita, joissa ei ole kunnolla tehty aistinvaraisia havaintoja julkisivusta tai ulkoseinärakenteesta. Kohteessa C ei julkisivua ole esimerkiksi havainnoitu ja kohteissa M ja Q ovat sisäpuoliset havainnot vain tilakohtaisia.

Kohdetutkimuksia analysoitaessa havaittiin, että raportointityyli ja tapa esittää asiat vaihtelevat niin eri konsulttiyritysten kuin myös yksittäisten tekijöiden välillä. Lisäksi tutkimusaineiston raporteissa havaittiin puutteita, kuten epäselvästi esitettyjä osakokonaisuuksia sekä tulosten puutteellista käsittelyä. Selvimät virheet olivat esimerkiksi tutkimusmenetelmien selostuksessa mainittu mikrobitutkimusanalyysi, jota ei itse raportista kuitenkaan löytynyt. Lisäksi havaittiin raportti, jonka otsikossa mainitun osan tutkimus ei vastaa raportin sisällön kanssa tutkittuja tiloja. Osasta laajemmista tutkimusraporteista puuttui myös selkeä tiivistelmä. Lisäksi aikaisempien tutkimusten huomioiminen ja kokonaisuuden tarkastelu käyttäen näitä pohjatietona vaihteli. Osassa tutkimuksissa lähtötilannetta kuivailtiin myös aikaisempien tutkimuslöydöksiä avulla, kun yleisempänä tapana oli lähinnä tehtyjen tutkimusten luetteleminen.

Toisaalta on selvästi huomattavissa, että vuosien aikana tutkimukset ovat tarkentuneet ja tulleet kattavammiksi. Tutkimusten analysointi – taulukosta voidaan havaita, että ulkoseinää tarkastelevat tutkimukset ovat yleensä laajempia tarkastellun ajanjakson loppupuolella. Kymmenessä kohteessa on kohteen viimeinen tutkimus joko melko kattava tai laaja.

Tutkimusaineiston perusteella havaittiin, että suuressa osassa kohteissa on ongelmia ilmanvaihdon kanssa. Painesuhteet eivät ole suositusten mukaiset ja ilmamäärätkin vaihtelevat suunnitelluista. Ongelmien toistuminen korjaustoimenpiteidenkin jälkeen on ilmanvaihdon osalta yleistä. Lisäksi vain yksittäisissä tiloissa toteutetut ilmanvaihdon säätötyöt ovat sekoittaneet sisä- ja ulkoilman väliset painesuhteet esimerkiksi viereisissä tiloissa. Myös rakennusautomaattien kanssa havaittiin osassa kohteissa ongelmia.

Kohteissa on yleisesti todettu ilmatiiveyspuutteita, mikä on tyypillistä kerrokselliselle tiiliulkoseinärakenteelle. Näitä oli rakenteelle tavanomaisesti liitosrakenteissa, mutta myös halkeamissa. Kohteissa K oli alapohjan ja seinän välille oli syntynyt rako maanpainumisesta ja kohteissa A ja R oli syntynyt suunnittelemtomia ryömintätiloja (ontelotiloja). Useammassa kohteessa on tehty ilmatiiviyden parannuksia, useasti kuitenkin hyvin paikallistesti tila tai rakenneosakohtaisesti. Laajuus ja toimenpiteiden ajankohdat ovat kuitenkin pitkälti epäselviä, sillä suunnitelmia oli käytössä vain rajallisesti. Tieto eri korjauksista on saatu pääsääntöisesti tutkimusraporttien lähtötilanteen kuvauksista.

Korjausten laadunvarmistuksessa havaittiin myös puutteita. Vuosien jälkeen on esimerkiksi todettu, että osa korjaustöistä on jäänyt tekemättä ja tiivistystoimenpiteitä on esimerkiksi todettu vasta seuraavan tutkimuksen aikana olevan väärin suoritettuja. Kohteessa K toteutettiin selvitys aikaisemmin tehdyistä korjaustoimenpiteistä. Tutkimuksessa havaittiin korjaukset tehdyiksi todennäköisesti ilman suunnitelmia. Tiivistystoimenpiteet eivät esimerkiksi olleet suoritettu niin, että ne olisivat korjanneet ongelmaa. Virheellisesti tai epäselvästi suoritettuja tutkimusmenetelmiä esiintyi ainakin kohteissa A, C ja K. Nämä olivat merkkiainetutkimuksia, jotka olivat suoritettu epämääräisissä paineolosuhteissa.

Osassa uudemmissa kohteissa oli rakennepiirustusten mukaan julkisivussa tuuletusraot. Aistinvaraisten havaintojen ja rakenneavauksien perusteella ei tuulettuvuuden kannalta riittävää tuuletusta kuitenkaan aina havaittu ja raot oli usein tukittu muurauslaastilla. Joissain selostuksissa ja kohteissa tehdyissä rakenneavauksissa havaittiin myös pieni tuuletusväli, mitä ei

kuitenkaan ole riittävä tuulettuvuuden kanalta. Pienet välit eristeen ja ulkokuoren välillä saattavat myös olla muuraustyön kannalta jätettyjä välejä, niin että eriste ei työntäisi ulkomuurausta ulospäin.

Tarkastelluissa kohteissa on liittyvien rakenteiden tutkimuksissa monesti huomioitu hyvin ulkoseinän liitoskohdat. Usein esimerkiksi alapohjaankin liittyvissä tutkimuksissa on tehty havaintoja ulkoseinäliitosten sekä sokkelirakenteiden osalta, kuten liitteen 2 taulukosta havaitaan. Joissain tapauksissa on kuitenkin tutkitun rakenteen suoranainen vaikutus ulkoseinään jäänyt tarkastelematta. Kohteessa A on esimerkiksi tarkasteltu räystäästään toiminta, mutta ei sen vaikutusta ulkoseinään.

6.1.2 Toimenpidesuosituksien johdonmukaisuus

Tutkimusten ja toimenpidesuositusten johdonmukaisuuden tarkasteluun käyttökelpoisten tutkimusten määrä supistui alkuperäisestä, sillä tästä otoksesta jätettiin pois ne tutkimukset, joissa ei ollut toimenpidesuosituksia ulkoseinälle. Taulukossa 15 on esitetty tutkimusten lukumäärät per tutkimuslaajuus ja johdonmukaisuus sekä ryhmien kokonaisosuudet ja prosentuaaliset osuudet.

Taulukko 15. Tutkimuslaajuuksien ja johdonmukaisuuksien jakautuminen.

Tutkimuslaajuus	Johdonmukainen	Melko johdonmukainen	Ei täysin johdonmukainen	Epäjohdonmukainen	Yhteensä
Suppea (tutkimusmenetelmät)	18	9	1	2	30
Suppea (tila)	3	2	0	0	5
Melko kattava	22	4	5	2	33
Laaja	2	3	0	1	6
Yhteensä	45	18	6	5	74
%	61 %	24%	8%	7 %	

Taulukosta 15 nähdään, että suurin osa tutkimusten toimenpidesuosituksista ovat johdonmukaisia. Näissä toimienpidesuosituksista vastaavat tutkimuksissa tehtyjä havaintoja ja laajuudet korreloivat toimenpidesuositusten kanssa. Tutkimusten analysointi – taulukossa (liite 2) on tutkimuskohtaisesti esitetty tarkemmin havainnot ja johdonmukaisuuteen vaikuttavat huomiot

’Melko johdonmukainen’ tarkoittaa tapausta, jossa toimenpidesuosituksista ovat pitkälti johdonmukaiset, mutta jokin yksityiskohta on jäänyt huomioimatta. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi suositus alapohjan tiivistystoimenpiteistä, mutta muutoin ulkoseinän ja sen liittyvien rakenteiden ilmatiiveys on jäänyt huomioimatta. Kohteiden liitosyhteyksien tarkasteltaessa voitiin kuitenkin havaita, että alapohjasta saattaa olla ilmayhteys eristetilän kautta sisäilmaan. Joissain tutkimuksissa suositus jatkotutkimuksista tai selvityksistä olisi saattanut olla hyödyllisiä. Kahdessa tutkimuksessa ilmatiiveys oli todettu epämääräisissä paineolosuhteissa, mutta toimenpidesuosituksena oli kuitenkin tiivistys. Muutamassa tutkimuksessa annettiin laajat toimenpidesuosituksella ilmanvaihdolle pelkillä painesuhteiden suppeilla tutkimuksilla. Kolmessa tutkimuksessa olisi havaintojen perusteella voitu antaa myös tarkempia toimenpidesuosituksia. Neljässä tutkimuksessa suositellaan ensisijaisesti kattavaa

ilmatiiveyden parantamista perustellusti, mutta raskaampana korjausvaihtoehtona myös julkisivun purkua.

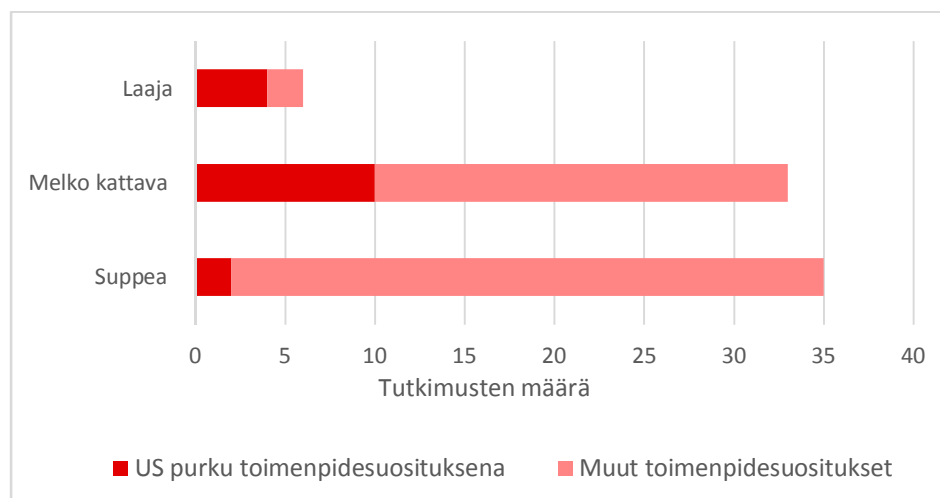
Ei täysin johdonmukaisia toimenpidesuosituksia on eniten melko kattavissa tutkimuksissa. Näissä tutkimuksissa on osittain tehty johdonmukaisia toimenpidesuosituksia, kuten ilmatiiveyden parannus, mutta lisäksi on suositeltu purkua varsin suppeilla perusteluilla tai jokin tutkimuksen osuus on suoritettu virheellisesti. Viidestä melko kattavasta tutkimuksesta kolme on antanut toimenpidesuosituksessa julkisivun ja eristeiden uusimisen vaihtoehdoksi pitkälti pelkän mikrobitutkimuksen perusteella. Kohteessa mikrobianalyysi on tehty epämääräisellä menetelmällä ja suositukset on annettu siten, että muut korjausehdotukset kuin purku eivät oikeastaan ole varteenotettavia. Kohteen A alapohjatutkimuksen merkkiainekoe on suoritettu virheellisesti alapohjan alipaineessa ja ulkoseinän ja alapohjan liittymää ei ole huomioitu. Kohteessa F suoritettun suppean tutkimuksen epäjohdonmukaisuus havaittiin siinä, että pelkällä painesuhteiden tutkimuksella on annettu korjaussuosituksiksi ilmatiiveyden parantaminen peruskorjauksen yhteydessä eikä ilmanvaihdon kunnostusta tai säätöä.

Epäjohdonmukaisia tutkimuksia on 7% koko otannasta. Näissä tutkimuksissa toimenpidesuosituksukset ovat raskaita tutkimuslaajuuteen nähden tai eivät ole johdonmukaisia havaintoihin nähden. Kohteen H ulkoseinään kohdistuneessa tutkimuksessa on suppealla tutkimuslaajuudella pelkillä aistinvaraisilla havainnoilla suositeltu purkua. Tässä kohteessa on aikaisemmassa melko kattavassa tutkimuksessa havaittu mikrobiepäpuhtauksia eristetilassa, mutta itse tutkimuksessa todetaan, että julkisivu on melko hyvässä kunnossa. Melko kattavien tutkimusten epäjohdonmukaisuudet johtuvat ulkoseinän purkuehdotuksista ilman laajempia selvityksiä. Kohteessa K on yhden laajan tutkimuksen toimenpidesuosituksessa epäjohdonmukaisuutta. Vaikka ehdotuksissa on johdonmukaisuuttakin, kuten ikkunoihin kohdistetut toimenpiteet ja tiivistys, on ilmatiiveyspuutteet todettu epämääräisissä paineolosuhteissa suoritettulla merkkiainetutkimuksella. Purkuehdotus mikrobivaurioituneelle alueelle on myös perusteltu. Sen sijaan koko ulkoseinärakenteen purku, sisältäen sekä sisä- että ulkokuoren, on kohtuuton, kun perusteluna on ainoastaan teoreettinen analyysi heikosta rakennusfysikaalisesta toiminnasta.

Suppeista ja melko kattavista tutkimuksista pitkälti yli puolet olivat johdonmukaisia toimenpidesuosituksiinsa nähden. Suurin eroavaisuus jakaumassa näkyy laajojen tutkimusten osalta, joista puolet ovat toimenpidesuosituksiinsa nähden melko johdonmukaisia. Näissä tutkimuksissa on esitetty tiivistystoimenpiteiden lisäksi myös julkisivun purkua vaihtoehtona, johon havaintojen perusteella voidaan kuitenkin suhtautua varauksella. Tutkimustulokset ovat yleisesti ottaen johdonmukaisia keskenään, joitain poikkeuksia lukuun ottamatta. Eroavaisuuksia on esimerkiksi siinä, minkälaisena ulkoseinän rakenteellista kuntoa on pidetty aistinvaraisen tarkastelun perusteella ja onko ajateltu rakenteen elinkaarta.

Liitteen 2 taulukosta havaitaan, että 17:ssä tutkimuksessa on toimenpidesuosituksena ulkoseinän purku joko koko rakennuksen osalta, osittain tai muiden suositusten kanssa vaihtoehtoisena toimenpiteenä. Julkisivun purkutoimenpiteitä on suositeltu 11:ssä kohteessa ainakin kerran. Ulkoseinään kohdistuvat purkutoimenpidesuosituksukset suhteessa kaikkiin tutkimuksiin on esitetty kuvaajassa 2. Tutkimusaineistosta havaittiin, että ulkoseinän purkutoimenpiteitä on suositeltu usein pelkkien mikrobianalyysitulosten perusteella, jossa osa purkusuosituksista on perusteltu mikrobiepäpuhtauksien esiintymisellä eristetilassa. Muutamassa tapauksessa purku on perusteltu pelkästään ulkoseinän heikolla tuulettavuudella. Lisäksi on ikkunoiden yläpuolisten leukapalkkien halkeilua ja teräskorroosiota esitetty osassa tutkimuksista syyksi julkisivun uusimiselle. Kohteessa A oli tulosten tarkastelussa kiinnitetty

huomiota rakennuksen sääolosuhteisiin kohteen sijaitessa lähellä rannikkoa. Rakennuksen ympärillä olevaan runsaaseen kasvillisuuteen oltiin myös kiinnitetty huomiota kohteissa B, G ja L.



Kuvaaja 2. Tutkimusten toimenpidesuosittelujen ulkoseinään kohdistuvien purkusuosittelujen osuus kaikista tutkimuksista on esitetty kokonaisotoksesta tummanpunaisena. Suppeat tutkimukset ovat tässä yhdistetty yhdeksi otokseksi.

Taulukossa 16 on esitetty, kuinka materiaalitutkimuksen laajuus vaikuttaa toimenpidesuosituksiin. Materiaalitutkimusten laajuudet on jaoteltu sen perusteella, paljonko näytteitä on otettu ja kuinka kattavasti eri ilmansuunnista ja ulkoseinän osista. Suppeissa materiaalinäytetutkimuksissa on näytteitä otettu 1-10 sekä hyvin keskitetysti, melko laajoissa 7-14 ja useammasta ilmansuunnista ja laajoissa tutkimuksissa näytteitä on otettu 20-51 kaikilta julkisivuilta sekä useammasta osasta. Taulukosta voidaan havaita, että melko laajojen ja laajojen materiaalinäytetutkimuksia sisältäneet tutkimusten toimenpidesuosituksista 80 % on ulkoseinärakenteen purku. Suppeiden tutkimusten osuus on 12,5 %. Taulukosta voidaan myös havaita saman kohteen tutkimusten eroavaisuuksia. Esimerkiksi kohteissa C ja M on suppeiden tutkimusten toimenpidesuosittelut olleet ilmatiiveyden parannuskorjaus, mutta laajojen tutkimusten perusteella purku. Toisaalta yhtenäisyyksiäkin voidaan havaita. Kohteen L neljästä tutkimuksesta kolmessa suositellaan purkutoimenpiteitä, kun taas kohteen O kahden erilaajuisen tutkimuksen lopputulos on sisäkuoren tiivistys. Kohteessa R voidaan havaita ristiriitaa kahden tutkimuksen toimenpidesuosittelun välillä.

Taulukko 16. Tutkimusten, joissa suoritettu materiaalinäytetutkimus, toimenpidesuosittelujen jakautuminen purkusuosituksiin sekä muihin toimenpiteisiin. Laajuudet jaettu materiaalinäytteiden määrän ja sijaintien kattavuuden perusteella. Kohteet, joissa ulkoseinä uudistettu tai tullaan todennäköisesti uudistamaan, eitetty punaisella.

	Suppea		Melko laaja		Laaja	
	Purku	Ei	Purku	Ei	Purku	Ei
Kohteet	L, L	C, C, F, F, F, G, I, K, L, M, O, Q, Q, R	D, E, H, J, L, L, P, R	G, R	A, C, K, M	O

Tutkimusaineistosta havaittiin, että osassa tutkimusraporteissa on korjaussuositukset esitetty kaksiosaisena, jossa ensimmäinen kevyempi ja monesti myös väliaikaisena ratkaisuna esitetty menetelmä on rakennuksen ilmatiiviyn parantaminen. Toinen, raskaampi korjausmenetelmä on ulkoseinärakenteen purku sisä- tai ulkokautta, eristeen purku ja rakenteen muuttaminen tuulettuvaksi. Raskaimmillaan on myös suositeltu koko ulkoseinärakenteen purkua perusteltuna pelkästään rakenteen lämpö- ja kosteustekniseen toimimattomuuteen teoreettisen tarkastelun perusteella. Yhden tutkimuksen toimenpidesuosituksessa on perusteltu ulkoseinän purkua sillä, että rakennuksessa on eristeiden mikrobiepäpuhtauksien lisäksi liian laajoja ilmatiiveyspuutteita, jolloin rakenteiden täysin tiiviiksi saaminen olisi hankalaa. Myös osittaisia purkuja on suositeltu vaurioepäilyalueille. Kohteessa O on mikrobi tutkimuksessa havaittu varsin laajasti mikrobiepäpuhtauksia eristetilassa. Tässä ollaan kuitenkin tiilijulkisivun hyvän kunnon perusteella epäilty, että eriste on päässyt kastumaan jo rakennustyön aikana, mikä on osaltaan johtanut mikrobikasvun syntymiseen. Toimenpidesuosituksena suositellaan kattavaa sisäkuoren tiivistämistä eikä purkua.

Lähtötietojen ja tilaajalta saatujen tietojen mukaan seitsemässä kohteessa on peruskorjauksessa päädytty julkisivujen purkuun tai ne tullaan todennäköisesti purkamaan lähiaikoina. Nämä on esitetty taulukossa 16 punaisella. Yhdessä tapauksessa tehdyissä tutkimuksissa ei purkua suositella, mutta kohteessa ollaan kuitenkin päädytty peruskorjauksen yhteydessä purkuun. Ainakin yhdelle kohteelle on annettu luokan 2 suojelutavoitteet rakennukselle. Tälle on toimenpidesuosituksissa suositeltu ulkoseinän purkua sisäkautta, mutta myös ulkopuolista purkua on suositeltu. Peruskorjauksessa on päädytty ulkokautta toteutettuun julkisivun ja villaeristeiden uusimiseen.

6.2 Ulkoseinän näytteenottopaikat ja mikrobianalyysitulokset

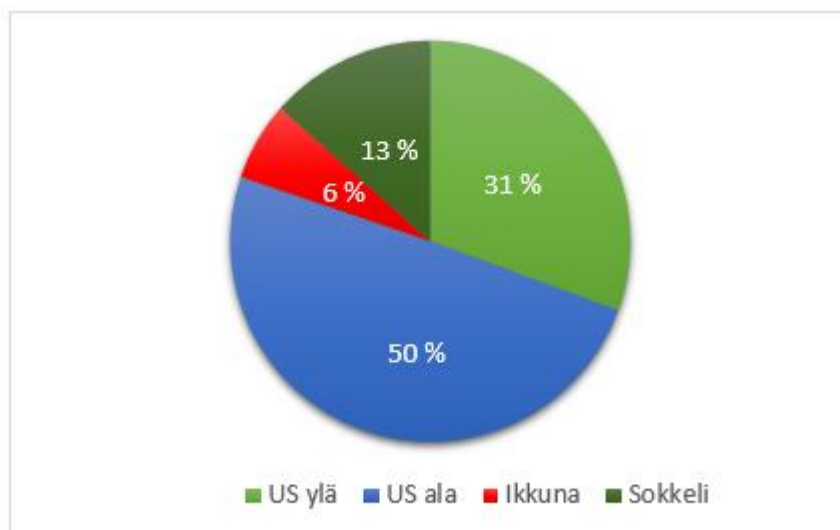
6.2.1 Mikrobi tutkimuksien näytteenottopaikat

Käytöstä olleesta tutkimusaineistosta havaittiin, että kohteiden tutkimuksissa on kaikkiaan otettu 393 materiaalinäytettä mikrobianalyysiä varten kerroksellisesta tiiliulkoseinärakenteesta tai sen liitosrakenteista. Näytteitä on otettu 16:ssa kohteessa keskimäärin 12,6 näytettä per tutkimus. Mikrobi tutkimuksia on kaikkiaan 31, jolloin tutkimuksia per kohde on keskimäärin 1,9. Näytteitä on tutkimuksissa otettu myös muistakin rakenteista ja rakenneosista, jotka on kuitenkin jätetty tämän tutkimuksen ulkopuolelle, koska eivät kuulu tutkittuun rakennetyyppiin. Tutkimuksissa suoritettujen materiaalinäytetutkimukset on koottu taulukkoon luvussa 3.2.2 esitetyllä tavalla (liite 3), jonka avulla tuloksista on selvitetty eri näytteenottojakaumat. Tästä analyysistä jätettiin huomioimatta kaksi tutkimusta, joista ei tutkimusraportin ja analyysitulosten perusteella voitu todeta näytteenottoa. Näin ollen analysoituja materiaalinäytteitä on 375. Tutkimusaineistosta havaittiin, että kohteen C tutkimuksen lähtötiedoissa esitetty materiaalinäytetutkimus puuttuu käytettävissä olleesta aineistosta. Materiaalinäytetutkimuksissa analysoidut materiaalit ovat yleisesti ottaen ulkoseinäeristeestä otettua mineraalivillaa, sokkelista otettu polystyreeniä, mineraalivillaa tai sementtilastuvillalevyä sekä ikkunanäytteet ovat joko ikkunarakenteesta tai tilkkeestä.

Mikrobinäytetutkimuksia on suoritettu sekä paikallisina ja suppeampina että laajempina ja koko rakennusta tarkastelevina tutkimuksina, kuten taulukossa 17 on esitetty. Tutkimuksessa havaittiin, että tutkimuksista 15:ssä näytteitä on otettu useammasta ilmansuunnasta

sekä rakenneosasta, kun taas 16:ssa tutkimuksissa näytteet on otettu paikallisesti. Tutkimuksista hyvin kattavia materiaalinäytetutkimuksia on viisi, joissa näytteitä on otettu yli 20 ja kattavasti eri ilmansuunnista. Muut tutkimukset ovat joko painottuneet tietyn ilmansuunnan tutkimiseen tai joku ilmasuunta tai rakenneosa on jäänyt tutkimatta. Kohteissa C ja U havaittiin ristiriitaa kahden tutkimustulosten välillä, jossa yhden tutkimuksen tulos viittaa laajempaan mikrobiepäpuhtauksien esiintymiseen ja toinen ei.

Kuvaajassa 3 on esitetty näytteenottokohtien osuudet kokonaisotoksesta. Ulkoseinän alaosa on tutkimuksissa selvästi tutkittu eniten, kun taas ikkunarakenteen näytteiden osuus on vain 6 %, eli näytteitä otettiin ainoastaan 24 kappaletta. Sokkelinäytteiden osuus on 13 %, eli näytteitä otettiin 51 kappaletta. Ulkoseinään alaosa näytettä otettiin kaikkiaan 188 ja yläosasta 116. Näin ollen rakenneosista ulkoseinän ylä- ja alaosa ovat parhaiten vertailukelpoisia, sillä niiden näyteotokset ovat suhteessa lähempänä toisiaan ja selvästi suurempia kuin esimerkiksi ikkuna- ja sokkelinäytteiden otos. Kyseinen näytteenottojakauma havaittiin kohteissa siten, että osassa tutkimuskohteista on tutkittu vain osaa rakennetta. Kohteissa G, H ja U on tutkimusaineiston perusteella ainoastaan tutkittu ulkoseinän alaosa sekä sokkeli. Viidessä kohteessa on ulkoseinän yläosasta otettu ainoastaan yksi näyte. Näistä yksi on kohde L, jossa on kaikkiaan tehty viisi mikrobinäytetutkimusta, mutta ulkoseinän yläosasta on yksi näyte. Neljässä kohteessa ei sokkelista ole otettu yhtään näytteitä ja ikkunarakennetta on tutkittu ainoastaan seitsemässä kohteessa.



Kuvaaja 3. Mikrobinäytteiden jakauma tutkituista alueista.

Tässä työssä tarkasteltiin myös mikrobitutkimusten näytteenottoa rakennusosakohtaisesti eri ilmansuuntiin (taulukko 17). Kuten taulukosta havaitaan, eniten näytteitä on otettu länsijulkisivulta ulkoseinän alaosa. Näytteenottosuunnat ovat kuitenkin jakautuneet varsin tasaisesti eri ilmansuuntiin nähden. Sokkelin osalta näytteiden jakautumien on myös suhteellisen tasaista, kaakon ollessa eniten tutkittu. Sokkelin ja varsinkin ikkunan osalta analysointi on kuitenkin epävarmaa, sillä näytteitä ei ole otettu kaikista ilmansuunnista ja näytteenottomäärät ovat pieniä. Työssä havaittiin kuitenkin muutamia kohteita, joissa näytteenottokohdat on valittu varsin suppeasti. Esimerkiksi kohteessa R on kahden materiaalinäytetutkimuksen avulla ainoastaan tutkittu eteläjulkisivua ja kohteessa I on kaksi ilmansuuntaa jäänyt tutkimatta kokonaan.

Taulukko 17. Näytemäärät ilmansuunnittain rakenneosille.

	Pohjoinen	Koillinen	Itä	Kaakko	Etelä	Lounas	Länsi	Luode
US ylä	13	6	15	14	25	14	18	11
US ala	22	22	17	31	23	26	34	13
Ikkunarak.	0	2	0	0	5	11	5	0
Sokkeli	7	9	0	12	3	6	5	5

Tutkimusaineiston näytteiden analysointimenetelmistä laimennossarjamenetelmä havaittiin olevan selvästi yleisin (25/31). Lisäksi on kaksi suoraviljelymenetelmällä tehtyä analyysiä, kaksi näiden yhdistelmää ja yksi qPCR-menetelmällä tehty analyysi. Yhdestä tutkimuksesta puuttuu tieto analyysimenetelmästä. Kyseinen tutkimus on tehty kohteessa F, ja näyte on otettu kunnostettavasta ikkunarakenteesta. Tutkimuksen johtopäätös kasvuun viittaavasta tuloksesta on, että ikkunat ovat vuotaneet. Toimenpidesuosituksissa ei oteta kantaa mikrobi-näytteen analyysitulokseen. Akreditoimattomia analyysijä oli ainoastaan qPCR-menetelmällä tehty mikrobialalyysi, jossa ei myöskään anneta raja-arvoja kasvuvitteelle. Tämä tutkimus on tehty kohteelle D ja tutkimuksen johtopäätös on, että ulkoseinäeriste on vaurioitunut ja että paras korjausvaihtoehto olisi purku. Muut tutkimusaineiston näytteet, joiden raportissa on tieto analyysin suorittajasta, on yhtä lukuun ottamatta analysoitu saman toimijan laboratoriossa.

Näytteenottotavoissa havaittiin myös eroavaisuuksia. Neljässä tutkimuksessa on näytteitä otettu samasta rakenneavauskohdasta eristeen sisä- ja ulkopinnasta ja yhdessä sekä sisä- että ulkopuolelta eri näytteenottokohdista. Näistä havaittiin enemmän mikrobikasvuvitteitä eristeen ulkopinnassa. Esimerkkejä tutkimusten näytteenotoista ja analyysituloksista on esitetty taulukossa 18. Kohteessa M on tutkimusraportissa maininta siitä, että näytteet on otettu ulkoseinäeristeen ulkopinnalta ja kohteessa P sisäpinnalta. Kohteiden H ja M materiaalinäyte-tutkimuksessa on maininta siitä, että tutkimuksessa tehtiin merkkianekoe kaikista näytteen-ottokohdista ja kohteessa P noin puolelta.

Taulukko 18 a ja b. Otteet liitetaulukosta (liite 3). Ylemmässä taulukossa esitetty kohteelle F tehty mikrobialalyysitutkimus, joissa materiaalinäytteet on otettu eristeen sisä ja ulkopinnasta. Alempi taulukko on kohteelle P tehdystä tutkimuksesta, jossa tutkimus on suoritettu niin, että kaikki paitsi kaksi näytettä on otettu aina pareina eristeen sisä- ja ulkopinnasta.

Kohde	US, yläosa				US, alaosa			
F			Länsi, VU	Länsi, VS	Etelä. VU	Etelä. VS	Länsi, VU	Länsi, VS
			1	2	1	1	1	1

Kohde	US, yläosa				US, alaosa				n.	Muut huomiot
P	Koillinen	Kaakko	Lounas	Luode	Koillinen	Kaakko	Lounas	Luode		Sisä ja ulkopuolelta
	1	3	3	2	2	2	2	4	34	

Mikrobitutkimusraporteissa havaittiin myös eroja. Näytteenottokohdan valinnan perustelut on esitetty vaihtelevasti raporteissa. Viidessä tutkimuksessa käy selvästi ilmi mitkä näytteet ovat vaurioepäilystä kohdasta ja mitkä ovat vertailunäytteitä. Kohteista 11:sta oli materiaalinäytteen rakenneavausta havainnoitu edes jossain määrin. Rakenneavauksien havaintojen perusteella on myös osassa tutkimuksista analysoitu näytteen vauriotodennäköisyyttä. Kahdeksassa raporteista ei näytteenottokohtaa ole erityisemmin perusteltu eikä vaikuta siltä, että edellisten tutkimusten havaintoja oltaisiin huomioitu niiden valinnassa. Tutkimusaineistosta havaittiin myös, että noin puoleen raporttien liitteissä olevaan analyysiraporttiin oli lisätty näytteen nimeen informaatiota näytteenottokohdasta. Tutkimusraporteissa materiaalinäytteiden tulosten ja tietojen esittäminen myös vaihteli. Yhdeksässä tutkimuksessa oli materiaalinäytteiden tiedot koottu raportissa taulukkoon, joista kolmessa taulukkoja oli useampia. Kohteen A tutkimusraportissa havaittiin taulukko, johon oltiin koottu oleellinen tieto näytteenottokohdasta, aistinvaraisista havainnoista sekä näytteen analyysituloksista. Esimerkki tästä on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19. Ote kohteen A tutkimusraportista, jossa näytteet on koottu loogisesti juoksevilla numeroinnilla ja raporttiin oli tehty taulukko, jossa ilmenee näytenumero, sijainti ja silmämääräinen kunto sekä viite kasvuun.

Tunnus	Sijainti kohteessa (suluissa ilmoitettu mahdollinen vauriokohta ulkoseinässä)	Viite vauriosta
MA.01-US	Ulkoseinä, lounaaseen, ikkunan pystyliittymä	heikko
MA.02-US	Ulkoseinä, lounaaseen, ikkunan vesipellin alapuoli	heikko
MA.03-US	Ulkoseinä, lounaaseen, ikkunan vesipellin alapuoli	vahva
MA.04-US	Ulkoseinä, lounaaseen, ikkunan pystyliittymä	vahva
MA.05-US	Ulkoseinä, lounaaseen, ikkunan liittymä alanurkka (rappausvaurio)	vahva

Tutkimusaineistossa havaittiin myös eri tapoja esittää näytteenottokohdat ja tutkittujen raporttien menetelmien määrät on esitetty taulukossa 20. Tavallisin tapa on näytteenottokohdan esittäminen pohjapiirustuksessa. Muita esiintyneitä menetelmiä on julkisivupiirustukseen merkkäminen sekä näytteenottokohdan valokuvaaminen kirjallisella selityksellä. Viidessä kohteessa oli pohjapiirustukseen esittämisen lisäksi käytetty värikoodia havainnollistamaan saatuja analyysituloksia. Kohteen P tutkimuksessa oli viiterajan ylittävät näytteet tummennettu ja I, K ja O kohteiden tutkimuksissa oli näytteiden viiteille eri värit. Kohteen C tutkimuksessa havaittiin puna-kelta-vihreän värikoodin lisäksi oma värimerkintä niille näytteille, joissa Asumisterveysohjeen 2003 mukaan olisi sädesieniraja ylittynyt.

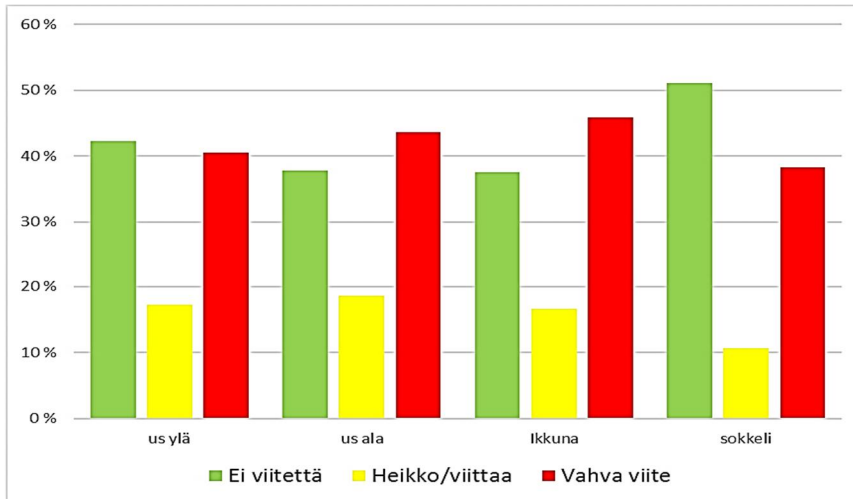
Taulukko 20. Mikrobinäytteiden näytteenottokehtien esittäminen.

Pohjapiirustus	Julkisivupiirustus	Valokuva + selitys	Pohjapiirustus + väri	Ei esitetty
16	3	3	5	4

Mikrobinäytteiden raportoinnissa havaittiin puutteita ja virheitä, kuten samojen lyhenteiden käyttöä kahdesti ja näytteiden jaoteltu pienempiin ryhmiin ilman kokonaisuuden kuvausta. Lisäksi kolmessa tutkimuksessa ei näytteenottokohtaa oltu esitetty mitenkään ja yhdessä näytteenottokohdat täytyi päätellä sanallisen selityksen perusteella. Osassa tutkimuksissa ei tutkimusraportissa oltu kuvattu tarkemmin näytteenottokehtia vaan tieto löytyi pelkästään liitteistä. Kohteen L tutkimuksessa näytetiedot oli esitetty ainoastaan liitteen julkisivukuvassa. Myös huomattava määrä pohjapiirustuksia esiintyi, joista puuttui ilmansuuntien ilmoittaminen.

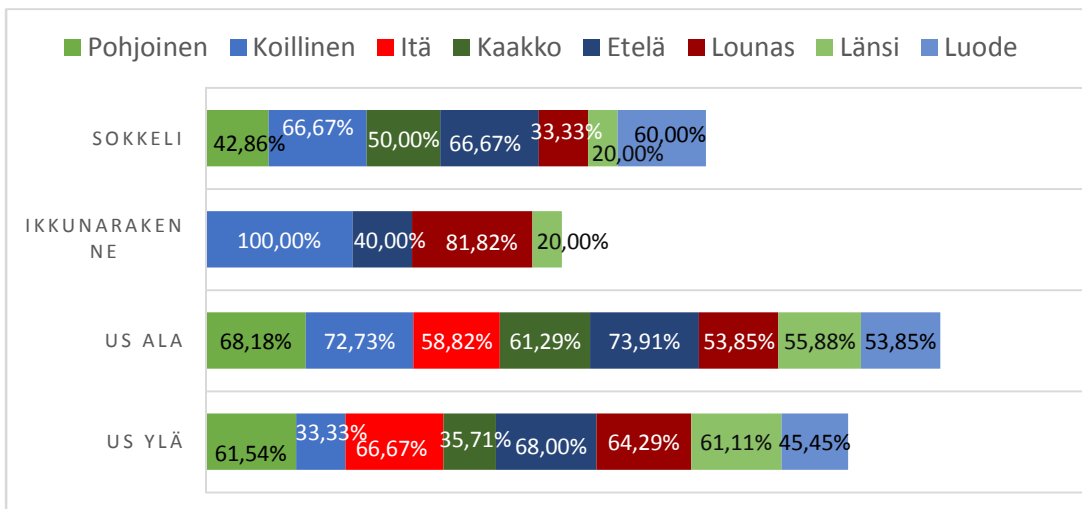
6.2.2 Materiaalinäytteiden analyysitulokset

Kuvaajassa 4 on esitetty näytteiden (375 kappaletta) vaurioviitejakauma rakenneosien mukaan. Analyysitulosten tarkastelussa on huomioitava, että osassa näytteenotoissa näytteenottomenetelmä on saattanut olla virheellinen. Näin ollen osa näytteistä saattaa olla kontaminoituneita, jolloin tulokset eivät ole täysin tarkkoja.



Kuvaaja 4. Mikrobinäytteiden analyysitulosten prosentuaalinen jakauma rakennusosittain

Kuvaajasta 4 havaitaan, että ei viitettä vaurioiden osuus on lähes yhtä suuri kuin vaurioituneiden osuus. Ulkoseinien ja ikkunoiden osalta jakauma on varsin samanlainen vaihteluvälin ollessa vahvasti viittaavien osalta 41 – 46 % ja ei viittaavien osalta 38 – 41 %. Heikosti ja viittaavien osuudet ovat myös varsin samat, vaihteluvälin ollessa 17 – 19 %. Sokkelin osalta näytteitä, joissa ei ole viitettä on korkeampi kuin muilla rakenneosilla (51 %). Analyysituloksia havainnoitiin myös ilmansuuntien mukaan. Kuvajassa 5 on esitetty vaurioon viittaavien näytteiden prosentuaalinen osuus ilmansuuntien mukaan ulkoseinän tarkastetuille osille.



Kuvaaja 5. Kasvuun viittaavien näytteiden osuus ilmansuuntien ja rakenneosien suhteen. Kasvuun viittaavia näytteitä ovat ne, joissa on analyysitulosten perusteella heikosta viitteestä vahvaan viitteeseen.

Kuvajasta 5 voidaan havaita, että sokkelin näytteistä on eniten vaurioviitteitä etelässä, kolkassa ja luoteessa, osuuden ollessa väliltä 60 % - 67 %. Ikkunarakenteen vauriojakauma on otettujen näytteiden osalta varsin hajaantunut. Eniten vaurioviitettä on koillisessa ja lounaassa ja vähiten lännessä. Ulkoseinän alaosalle kasvuun viittaavien näytteiden jakauma on kaikista tasaisin vaihdellen väliltä 53 % - 74 %. Ulkoseinän yläosalle kasvuviite on myös melko tasainen, noin 61 % - 68 % paitsi koilliselle, kaakolle ja luoteelle, jossa vaihtelu on välillä 33 % - 45 %.

6.2.3 Ulkoseinärakenteen vaikutus altistumisolosuhteen arvioon

Ulkoseinän vaikutusta sisäilmaan on tarkasteltu altistumisolosuhte arvion avulla. Altistumisolosuhteen arviointiin on tutkituista kohteista suoritettu niille, joissa on ainakin kerran suoritettu laajuudeltaan tutkimus, joka täyttää TTL:n kriteerit arvion tekemiselle. Arvio kohteelle on kuitenkin suoritettu niin, että aikaisemmat tutkimukset ovat myös huomioitu. Näin kaikki tieto saadaan mukaan arvioon. Huomioitavaa on, että altistumisolosuhteen arvio on toteutettu siten, että kuvastaisi rakennuksen tilaa ennen suunnitteilla tai tiedossa olevia laajempia korjauksia.

Kohde C

Altistumisolosuhteen arvio perustuu 2015 tehtyihin tutkimuksiin sekä myös osittain sitä ennen tehtyjen tutkimusten havaintoihin. Mikrobianalyysinäytteitä on viimeisessä tutkimuksessa otettu erittäin kattavasti 50 näytettä, joista vaurioon viittaavia havaittiin 25. Kaikkiaan kohteesta on otettu 64 näytettä. Aikaisemmissa mikrobitutkimuksissa havaittiin vähemmän mikrobiepäpuhtauksia (kokonaisotoksen viitesuhde 28/61). Toisaalta mikrobiesiintymiä löytyi tasaisesti jokaiselta julkisivulta, jolloin vaurioaluetta on hankala rajata ja koskee koko ulkoseinärakennetta. Tutkimuksissa on myös todettu ulkoseinän liittymissä laaja-alaisia ja säännöllisiä ilmavuotoja. Lisäksi sisätilat ovat hetkellisesti ulkoilmaan nähden voimakkaasti alipainaineinen. Pölynäytteissä on aikaisemmassa tutkimuksessa havaittu ulkoilmapölyä, joka myös viittaa ulkovaipan epätiivyyteen. Ilmanvaihto on melko uusi, mutta toiminnassa on havaittu puutteita. Edellä mainittujen tekijöiden perusteella korjauslaajuus on merkittävä ja haitallinen altistumisolosuhte on **todennäköinen**. Tilaaajalta saadun tiedon mukaan kohde on lähdössä peruskorjaukseen, jossa uusitaan julkisivu.

Kohde E

Altistumisolosuhteen arvio perustuu 2015 tehtyyn tutkimukseen. Kohteessa on todettu ilmavuotoja ulkoseinän ja alapohjan, ulkoseinän ja pilarin sekä ulkoseinän ikkunaliittymistä. Ilmanvaihto on varsin uusi, mutta tutkimuksessa todetaan, että korvausilmaa tulee edelleen ikkuna- ja ulkoseinärakenteen läpi. Sisäilman on todettu ainakin hetkellisesti olevan lievästi alipaineinen ulkoilmaan nähden. Materiaalinäytteitä (12 kpl) on otettu eri ilmansuunnista ja useammasta rakenneosista. Mikrobianalyysin perusteella vaurioviitteet keskittyvät enimmäkseen sokkelihalkaisun eristeeseen. Maanvastaisenseinän läpi ja alapohjasta on todettu ilmayhteys sisäilmaan. Eristetilasta on todettu ilmayhteys sisäilman, jolloin ensimmäisen kerroksen tiloissa haitallinen altistumisolosuhte on **todennäköinen**. Toisen kerroksen tiloissa altistumisolosuhte voidaan katsoa olevan vain **mahdollinen**. Tiloihin on Ympäristökeskuksen tekemän tarkastuksen mukaan tehty ja tarkoitettu tehdä tilakohtaisia ilmatiiveyden parannuksia.

Kohde F

Altistumisolosuhteen arvio perustuu 2011 tehtyyn melko kattavaan tutkimukseen huomioiden myös aikaisemmat tutkimusten havainnot. Ulkoseinässä on materiaalinäyttein todettu paikallisia ulkoseinän eristetilän mikrobiperäisiä epäpuhtauksia, joiden lisäksi eristetilaan on rakennuksen elinkaaren aikana kertynyt erilaisia ulkoilman epäpuhtauksia. Mikrobinäytteet (yhteensä 15 kpl) kohdistuvat rajatulle alueelle. Vaurio viite on 8/15 näytteistä. Tutkitut tilat olivat alipaineisia ulkoilmaan nähden. Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmä on todettu tarvitsevan peruskorjausta. Merkkiainekokein on todettu selviä ilmavuotoreittejä ulkoseinä-, alapohja- ja yläpohjarakenteissa. Sisäkuori on myös osittain puhtaaksimuurattu, jolloin epäpuhtauksien kulkeutuminen muurauksen läpi on mahdollista. Yksittäisissä tiloissa, joissa rakenteiden ilmatiiveyttä on parannettu, haitallinen altistumisolosuhde on **epätodennäköinen**. Muissa tiloissa haitallinen altistumisolosuhde on **todennäköinen** ulkoseinän sisäkuoren säännöllisten ilmatiiveyspuutteiden sekä eristetilän epäpuhtauksien vuoksi. Saatujen tietojen mukaan kohde on lähdössä peruskorjaukseen, jossa julkisivu uusitaan.

Kohde G

Altistumisolosuhteen arvio on tehty päiväkotirakennukselle 2013 tehdyn laajan tutkimuksen perusteella. Kohteen (päiväkotirakennus) ulkoseinärakenteessa on todettu ilmavuotoja rakenneliittymissä ja läpivienneissä, mutta eristetilasta otettujen näytteiden perusteella mikrobiesiintymä on vähäistä (12 näytettä, joista kaksi vaurioviite). Mikrobinäytteiden perusteella ulkoseinän mikrobiepäpuhtaudet ovat helposti rajattavissa. Sisäilman painesuhteet vaihtelevat käyttöajan pienestä ylipaineesta yön ja viikonlopun melko matalaan alipaineeseen. **Ilmanvaihdon tuloilma on todettu riittämättömäksi**. Ulkoseinän kannalta haitallinen altistumisolosuhde on **mahdollinen** koillisjulkisivun tiloissa mutta muuten melko **epätodennäköinen**. Kohteessa ei ole saatujen lähtötietojen perusteella tehty laajoja korjaustoimenpiteitä tutkimuksen jälkeen vaan lähinnä paikkakorjauksia.

Kohde H

Altistumisolosuhteen arvio perustuu 2014 tehtyyn melko kattavaan tutkimukseen huomioiden myös aikaisemmat tutkimustulokset. Kohteessa on tehty joitain alapohjan ja ulkoseinäliittymän tiivistystoimenpiteitä (ei tarkempaa tietoa) jotka tehty huonosti tai tehty vain osittain. Korjaustoimenpiteidenkin jälkeen kohteessa on todettu ilmatiiveyspuutteita alapohjan ja seinäliittymissä, ikkunaliitoksissa ja seinien halkeamista. Sisäilman painesuhteet on todettu olevan epätasapainossa ja paikallisesti korkeassa alipaineessa. Mikrobianalyysin perusteella ulkoseinien alaosien eristeessä on mikrobiepäpuhtauksia lähes kaikissa ilmansuunnissa. Mikrobinäytteitä (12 kpl, joista 7/12 vaurioviite) on otettu ainoastaan ulkoseinän ala-osaan, mutta rakennus on yksikerroksinen, jolloin ulkoseinän alaosa siirtyvät epäpuhtaudet vaikuttavat kohteen sisäilmaa kokonaisuudessaan. Eristetilasta on todettu ilmavuotoja sisäilmaan ja sisäkuoren tiiveys on heikko, joten haitallinen altistumisolosuhde on **todennäköinen**. Saatujen lähtötietojen perusteella kohteeseen ei ole tehty tai suunniteltu lähiaikoina korjauksia, mutta tilaajan mukaan julkisivun purku on kuitenkin todennäköinen korjaustoimenpide.

Kohde J

Kohteen arvio altistumisolosuhteelle on tehty 2015 tehdyn tutkimuksen perusteella ottaen osittain huomioon aikaisemmat tutkimustulokset. Ulkoseinän mikrobi tutkimus painottuu seinän alaosan tutkimiseen. Seitsemästä materiaalinäytteistä löytyi mikrobiepäpuhtauksia kaikista ilmansuunnista. Näin ollen ulkoseinän eristeessä on ainakin paikallista mikrobikasvua. Sisäilman painesuhteet vaihtelevat alipaineesta ylipaineeseen, mutta ilmanvaihdon käyntiajan muutokset aiheuttavat alipaineiikin. Lisäksi kohteessa todettiin runsaita ilmapuotoja alapohja- ja ulkoseinä-, pilari- ja ulkoseinä- sekä ikkunaliittymissä. Toisen kerroksen arvio on vaikea tehdä tutkimusten painottuessa ensimmäiseen kerrokseen, mutta lounaisulkoseinästä on havaittu ainakin yksi mikrobiepäpuhtauksia sisältävä lämmöneriste-kohta, joten tässä tilassa altistumisolosuhteen arvio on ainakin mahdollinen. Haitallinen altistumisolosuhde on ensimmäisessä kerroksessa **mahdollinen** ja paikoin jopa **todennäköinen** runsaiden ilmapuotojen ja epäpuhtauseesiintymien vuoksi. Tilaajalta saatujen tietojen perusteella kohteessa on 2016 tehty paikkakorjauksia. Laajuudet eivät ole tiedossa.

Kohde K

Altistumisolosuhde arvio on tehty 2015 tehdyn tutkimus lähtökohtana huomioiden myös aikaisemmat tutkimustulokset. Ilmatiiveystarkastelussa havaittiin systemaattisia vuotoja, mutta tutkimus suoritettiin kyseenalaisissa olosuhteissa (merkkiainekoe ylipaineessa), eli tulos ei ole täysin luotettava. Toisaalta rakennuksessa on todettu silminnähden rakoja ja halkeamia, joista on ilmayhteys eristetilaan. Materiaalinäytteistä (20 kpl) vain kolmessa todettiin mikrobikasvuviitettä. Nämä olivat silminnähden vaurioituneilta alueilta. Myös aikaisemmassa tutkimuksessa havaittiin paikallista mikrobiepäpuhtautta (viite kolme kuudesta näytteestä), joka oli liitettävissä vesivuotovaurioon. Painesuhteet mitattiin olevan ylipaineisia käytön aikana ja lievästi alipaineisia käytön ulkopuolella ulkoilmaan nähden. Haitallinen altistuminen voidaan pitää paikallisesti **mahdollisena** ainakin niissä tiloissa, joissa todettiin mikrobiepäpuhtauksia eristetilassa sekä samankaltaisten ulkoseinän silminnähden vaurioituneiden alueiden yhteydessä. Muuten kohteen haitallinen altistumien voidaan katsoa **epätodennäköiseksi**. Tilaajalta saadun tiedon perusteella kohteessa on tehty paikkakorjauksia.

Kohde P

Kohteen arvio on tehty 2014 tehdyn laajan tutkimuksen perusteella ottaen huomioon muiden tutkimusten havaintoja. Mikrobi tutkimuksessa havaittiin kasvuviitteitä kaikista ilmansuunnista. Näytteistä (14 kpl) noin puolet viittaavat kasvuun ja ovat otettu eniten ulkoseinän ala- osasta, joten toisen kerroksen havainnot ovat suppeammat. Ulkoseinän systemaattisia epätiiveyskohtia on todettu merkkiainekokein ulkoseinän halkeamista ja liittyvien rakenteiden kohdalta. Painesuhteet on mitattu ainoastaan hetkellisesti, jolloin ne olivat suositusten mukaiset. Aikaisemmassa tutkimuksessa oltiin kuitenkin havaittu epätasapainoa ja alipaineiikkejä painesuhteissa. Ilmanvaihdon toiminnassa on myös havaittu puutteita ja ilmamäärät poikkeavat suunnitelmista. Mikrobi tutkimuksessa havaitut eristetilan epäpuhtaudet sekä todetut ilmayhteydet epäpuhtauksista sisäilmaan mahdollistavat haitallisen altistumisen olevan **mahdollinen** tai jopa **todennäköinen**. Tilaajalta saadun tiedon perusteella kohteessa ei olla suunniteltu eikä toteutettu vanhan osan ulkoseinärakennetta koskevia korjaustoimenpiteitä.

Kohde Q

Kohteen altistumisolosuhteen arvio on tehty 2014 ja sitä aikaisemmin tehtyjen tutkimusten perusteella. Ulkoseinässä on mikrobinäyttein todettu paikallisia ulkoseinän eristetilan mikrobiepäpuhtauksia. Näytteitä on kuitenkin otettu suppeasti (kaikkiaan 7 kpl), joista ainakin kolme on vesivauriokohdan selvityksestä ja koko otos on otettu eteläjulkisivulta. Analyysissä havaittiin kuitenkin mikrobiepäpuhtauksia eristeessä, joten rakennuksessa voidaan epäillä ainakin paikallisia epäpuhtauksia. Lisäksi ulkoseinässä on todettu pahaa rapautumaa ja aukkoja eristetilaan, joten epäpuhtauksien löytyminen muualtakin on mahdollista. Merkkiainetutkimuksilla havaittiin ilmapuotoja erityisesti ikkunaliitoksista sekä alapohjan ja seinien välistä. Painesuhteet mitattiin olevan ainakin hetkellisesti alipaineisia ja epätasapainossa. Haitallinen altistuminen voidaan pitää tiiveyspuutteiden ja havaittujen epäpuhtauksien takia osittain **todennäköisenä** ja ainakin **mahdollisena**. Kohteeseen ollaan suunniteltu kosteusvauriokorjauksia, joissa korjataan kuivatusjärjestelmää sekä tiivistetään alapohja sekä ikkunaliittymät.

Taulukko 21. Tutkimuskohteiden altistumisolosuhde arvio. X-merkki kuvastaa mihin todennäköisyys painottuu.

Altistumisolosuhdearvio	C	E	F	G	H	J	K	P	Q
Epätodennäköinen				X			X		
Mahdollinen		X				X		X	X
Todennäköinen	X		X		X			X	

Taulukossa 21 on koottu tutkittujen kohteiden tulokset. Kahdessa C ja H haitallinen altistuminen on todennäköinen koko rakennuksen osalta. Kohteissa E, J, P ja Q tilasta riippuen arvio voidaan pitää joko mahdollisena tai todennäköisenä ja kohteessa F todennäköisenä muuten paitsi korjattujen tilojen osalta epätodennäköisenä. Kohteiden G ja K haitallinen altistuminen on arvioitu epätodennäköiseksi, mutta osassa tiloista mahdollisena.

7 Johtopäätökset ja suositukset

7.1 Tiiliulkoseinärakenteen tutkiminen ja raportointi

Tutkimusotannasta voidaan todeta, että tutkittujen kohteiden osalta on suoritettu selvästi eniten suppeita, tiettyä rakennetta tai ilmiötä tarkastelevia tutkimuksia ja selvityksiä. Toisaalta hyvin tilakohtaisia tutkimuksia on vähän, mikä ulkoseinää tarkastelevien tutkimusten osalta on järkeenkäyvää, sillä ulkoseinän toiminta kokonaisuutena ei ole asianmukaista arvioida hyvin pienen pinta-alan perusteella. Tilakohtaisia tutkimuksia voidaan pitää asianmukaisina tilaan liittyvän ongelman selvittämisessä, mutta kokonaisuutta arvioitaessa on tutkimuslaajuuden oltava kattavampi. Työn perusteella voidaan myös todeta, että suppeilla tutkimuksilla voidaan tuoda oleellista tietoa rakennuksen tarkasteluun, mutta yksinomaan suppean tutkimuksen tarkastelu ei kerro tarpeeksi rakennuksen kunnan kokonaisvaltaiseen arvioimiseen. Näin ollen painoarvo siirtyy aikaisempien tutkimusten tarkasteluun ja kokonaisuuden kuvaamiseen, jossa jokaisella tutkimuksella pyritään tuomaan uutta tietoa rakennuksen kokonaisarviointiin. Kiinteistön omistajan sekä tutkimusten tilaajan kannalta kokonaisuuden hallinnan tärkeys korostuu, mikäli kohdetta tutkitaan yksittäisillä suppeilla tutkimuksilla.

Ulkoseinää käsittelevistä tutkimuksista sisäpuoliset aistinvaraiset havainnot todettiin yleisimmäksi menetelmäksi. Näiden laajuuksissa oli kuitenkin suurta vaihtelua. Yllättävänä voidaan pitää sitä, että julkisivun kattavia aistinvaraisia tutkimuksia on suoritettu suhteessa varsin vähän, vaikka joitain aistinvaraisia havaintoja oli tehty lähes kaikista kohteista. Rakenteen kunnan ja elinkaaritarkastelun näkökulmasta kattavien julkisivututkimusten tekeminen olisi kannattavaa. Tarkasteluissa saatujen tuloksien tarkkuutta vähentää kuitenkin se, että lähtötiedoista saattaa puuttua tutkimuksia. Yllättävänä voidaan pitää myös tutkimuksia, joiden sisäilmaolosuhdeteiden tarkastelu olisi vaatinut lisätutkimuksen suorittamisen. Esimerkkinä tästä on ilmatiiveystutkimukset merkkiaineella, joissa ilman painesuhteiden mittaus on jäänyt pois, jolloin ilmavirtojen kulkeutumisuuunta jää selvittämättä. Tutkimuksien onnistumisen kannalta on myös kiinnitettävä huomiota tutkimusten suorittamiseen. On varmistettava, että eri tutkimusosa-alueet suoritetaan niitä koskevien ohjeiden ja suositusten mukaisesti.

Diplomityössä todettiin ongelmakohtia kuntotutkimusten ja ulkoseinärakenteelle kohdistuneiden tutkimusten raportoinnissa. Pahimmillaan epäselvä raportti ei välitä oleellisia tietoja lukijalle, jolloin aikaisemmat havainnot ja johtopäätökset eivät siirry eteenpäin. Tutkimusraportissa olisi hyvä olla selkeästi jäsennelty tiivistelmä, josta tehty tutkimukset ja laajuus sekä tärkeimmät havainnot rakenteen kunnan hahmottamiseen käy ilmi. Varsinkin laajempien tutkimusten osalta tämä korostuu, sillä pitkien ja kattavien raporttien kokonaisuuteen jää helposti tärkeää tietoa lukijalta huomaamatta, mutta tiivistelmä tuo myös selkeyttä suppeampiin tutkimuksiin. Tutkimustulosten johdonmukaiseen esittämiseen ja pohjapiirroksissa selkeästi havainnollistamiseen sekä raportin selkeyteen tulisi kiinnittää huomiota.

Työn perusteella voidaan todeta, että kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen yleisempiä ongelmia ovat ilmatiiveyspuutteet liitosrakenteissa sekä halkeamissa ja raoissa. Näiden korjauksissa on kuitenkin ollut ongelmia. Riittävien selvityksien ja suunnitelmien sekä laadunvarmistuksen puutteista tai puuttumisesta johtuen, kohteissa esiintyi tekemättömiä tai huonosti suoritettuja korjaustoimenpiteitä. Suunniteltuja korjaustoimenpiteitä todettiin puutteelliseksi vasta seuraavien tutkimusten aikana, joskus jopa vuosien päästä. Näin korjausratkaisun toimivuudesta karttuu virheellistä tietoa jopa siksi, että työtä ei ole edes tehty. Saatujen

lähtötietojen ollessa varsin puutteelliset korjaussuunnitelmien osalta, on laadunvarmistusta ja korjausten toteuttamista hankalaa arvioida laajemmin. On mahdollista, että korjauksia on toteutettu useammassakin kohteessa ilman erillisiä suunnitelmia. Ilmatiiveyden parantamiskorjauksista ja kapselointimenetelmistä on aikaisempien tutkimusten perusteella hyvää näyttöä niiden toimivuudesta, mikäli ne suoritetaan huolellisesti, hyvin suunniteltuna ja ohjeiden mukaisesti. Näin tiivistyksen käyttöikä voi olla kymmeniä vuosia. Oleellista on se, että tiivistys ymmärretään tehdä jokaiseen tarpeelliseen kohtaan. Huomioitavaa on, että mikrobiepäpuhtauksia ei asuinterveysasteuksen mukaan ole pakko poistaa, vaan toimenpiderajan ylittymisen selvittämien ja epäpuhtauksien kulkeutumisen rajoittaminen sisäilmaan riittää. Ilmatiiveyden parannuskorjauksessa merkkiaineella suoritettu ja riittävällä otannalla toteutettu laadunvarmistus on ehdoton korjauksen onnistumisen kannalta.

Yleisimpiä ongelmia tutkituissa kohteissa oli heikon ilmatiiveyden lisäksi ongelmat painesuhteissa ja ilmanvaihdon ilmamäärissä. Ilmanvaihto todettiin usein huonokuntoiseksi tai että säädöt eivät olleet suunnitelmien mukaisia. Myös rakennusautomaation säädöissä ja toiminnassa havaittiin ongelmia. Rakenteellisen toiminnan ja hyvän sisäilman kannalta ilmanvaihdon kuntoa, toimenpiteitä sekä laadunvarmistusta tulisi korostaa ilmatiiveyden lisäksi. Lisäksi sadevesi- ja salaojajärjestelmän kuntoon ja toimivuuteen tulisi kiinnittää huomiota, jotta ulkoseinään ja liittyviin rakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta voitaisiin vähentää. Myös ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä olisi hyvä tehdä. Esimerkiksi huonokuntoisten saumojen ja liitosten tiivistys saattaa ehkäistä tulevia ongelmia sekä huoltotoimenpiteiden suorittaminen ennen kuin ongelma on jo syntynyt.

Vuosien 1960-1980 – luvun rakennusten tarkastelussa on myös hyvä huomioida, että piirustukset eivät välttämättä vastaa todellisuutta. Kerroksellisissa tiiliulkoseinärakenteissa oli muutamassa kohteessa rakenneavauksen perusteella tuuletusväli ulkokuoren ja eristeen välissä. Tämä pieni väli on kuitenkin monesti tukittu muurauslaastilla, ja vanhojen ohjeistusten tarkastelusta voi myös päätellä, että kyseinen väli on alun perin ajateltu muurausta helpottavaksi (eristeväli tehty isommaksi, jotta eriste ei työntäisi ulkomuurausta), ei niinkään tuuletuvuuden lisäämiseksi.

7.2 Tutkimusten ja toimenpidesuosituksen johdonmukaisuus

Tutkimusotannan tarkastelusta voidaan todeta, että tutkimusten toimenpidesuositukset olivat suurimmaksi osaksi johdonmukaisia. Epäjohdonmukaisuus johtui usein ulkoseinän purkusuosituksista, jotka perustuvat yleisimmin mikrobiepäpuhtauksien esiintymiseen. Rakenteellisen kunnon tarkastelu jäi lähes kaikissa kohteissa rajalliseksi. Huomioitavaa on, että tutkimusotoksesta laajoja tutkimuksia oli vain kuusi, joista yksi oli epäjohdonmukainen, joten tarkkoja johtopäätöksiä ei tuloksista voida tehdä. Ongelmallisempina voidaan pitää melko kattavia tutkimuksia, joista ei täysin johdonmukaisia ja epäjohdonmukaisia tutkimuksia on yhteensä 21 % ja tutkimuksia on kaikkiaan 33. Näissä tutkimuksissa korostui erityisesti mikrobianalyysituloksen painoarvo toimenpidesuosituksissa. Tässä tarkastelussa on kuitenkin huomioitava tutkimusaineiston analyysin vaatineen yleistämisen, jotta aineisto saatiin jaettua eri ryhmiin ja vertailtua keskenään. Ryhmittelyn ongelmana voidaan pitää ryhmän sisäiset eroavaisuudet, jotka jäävät työn analyysin ulkopuolelle, sekä tutkimukset, jotka jäävät kahden ryhmän väliin.

On hankala yleistää, mikä kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen rakenteellinen kunto on oltava, jotta purku olisi perusteltua. Voidaan kuitenkin todeta, että ulkoseinärakenteen tutki-

muksen tulisi sisältää myös rakenteellisia tutkimuksia ja havaintoja sekä sisä-, että ulkopuolelta. Tässäkin on arvioitava kokonaisuutta. Esimerkiksi betonisten leukapalkkien halkeilu ja teräskorroosiot ovat mahdollista paikkakorjata varsin vaurioituneessakin vaiheessa. Myös tiilijulkisivun osittaisia purkutoimenpiteitä voidaan suorittaa. Toisaalta mikäli vaurioalueet ovat hyvin laajoja, eivätkä ne ole helposti rajattavissa, on koko julkisivun purku ja muuttaminen tuulettuvaksi luultavasti järkevämpää, kuin laajojen paikkausten suorittaminen. Yleisen KH-kortiston mukaan eri rakenneosilla sekä rakennusmateriaaleilla on tietty käyttöikä. Mikäli julkisivu on tullut käyttöikänsä päähän, ja rakenteen toiminnassa todetaan tutkimusten perusteella puutteita ja vaurioita, on uusiminen perusteltua. Lisäksi korjausta voidaan katsoa myös energiatehokkuuden kannalta. Jos rakenteessa esiintyy laajaa rapautumaa, mikrobiepäpuhtauksia ja eristepaksuus on lisäksi hyvin ohut, voidaan ulkoseinän muuttamista nykyaikaiseksi perustella myös energiatehokkuuden kannalta.

Työssä todettiin myös, että ilmatiiveyden parantamista suositellaan paljon, mutta monesti pelkästään väliaikaisena korjauksena ennen purkua. Toimenpidesuosituksissa todettiin kaksijakoista korjausmenetelmien esittämistä, jossa ilmatiiveyden parantaminen esitettiin lähinnä väliaikaisena ja monesti huonompana vaihtoehtona sekä purkua järkevämpänä vaihtoehtona. Tämä esitystapa on asianmukainen, jos se esitetään niin, että ilmatiiveyden parantaminen on ensisijainen korjausmenetelmä ennen peruskorjausta, jonka jälkeen tulee arvioida uudestaan. Ilmatiiveyden parantamien voidaan toteuttaa eri tasoisena ja perusteellinen ja laadukkaasti tehty tiivistäminen voi olla hyvinkin pitkäikäinen ratkaisu. Korjaustoimenpiteiden onnistumisen kannalta tulisi tutkimusten toimenpidesuosituksien suhteuttaa tutkimuslaajuuteen ja korjaussuosituksien tulisi perustua johdonmukaisesti tutkimusten johtopäätöksiin.

7.3 Materiaalinäytteet ja analyysitulokset

Diplomityön perusteella voidaan todeta, että kerroksellisten tiiliulkoseinärakenteiden materiaalinäytetutkimukset painottuvat ulkoseinän alaosan tutkimiseen. Syynä saattaa olla oletus siitä, että mahdolliset vauriot sijaitsisivat ulkoseinän alaosassa. Toinen syy voi myös olla näytteenoton helpompi suorittaminen ulkokautta monikerroksisissa rakennuksissa, sillä tällöin ei tarvita nostinta. Huomioitavaa on, että nostimen avulla julkisivua voitaisiin havainnoida aistinvaraisesti tarkemmin rakenneavausten ja näytteenoton lisäksi. Ulkoseinän yläosaa tutkitaan myös varsin hyvin, mutta tutkimusosuudessa havaittiin kuitenkin, että työn tutkimusotoksessa oli kohteita, joissa ulkoseinän yläosan tutkiminen on jäänyt puutteelliseksi. Näin ollen rakenteen yläosien kuntoa ei pysty arvioimaan kunnolla ja korjattava laajuus saattaa olla eri kuin mitä pelkän ulkoseinän alaosan tarkastelu antaa ymmärtää.

Tässä työssä todettiin sokkelin tutkimisen olleen huomattavasti vähäisempää kuin ulkoseinärakenteen. Syynä saattaa olla oletus siitä, että sokkelihalkaisussa esiintyy aina mikrobiepäpuhtauksia. Ulkoseinärakenteen lisäksi voidaan sokkelirakennetta myös harkitusti tutkia mikrobinäyttein. Ulkoseinän ja sokkelirakenteen liitoskohta on hyvä tutkia, sillä avauskohdasta voidaan myös tarkastella, onko sokkelin ja ulkoseinän välissä kapilaarikatkoa ja vedenohjausta. Sokkelin kunnossa saattaa myös esiintyä alueellista ero, joten näytteitä olisi hyvä ottaa enemmän kuin yksi. Altistumisolosuhteen arvion kannalta tieto sokkelin kunnosta on oleellista, sillä sokkelihalkaisusta on monesti ilmayhteys sisäilmaan, jolloin haitallinen altistuminen on todennäköisempää. Ikkunarakenteiden tutkiminen on myös ollut hyvin vähäistä. Kerroksellisen ulkoseinärakenteen ongelmallisimpia kohtia ovat monesti epätiiviot

liittymät ikkunarakenteisiin, jolloin esimerkiksi ikkunatilkkeen tutkiminen saattaa olla perusteltua.

Diplomityön tutkimusaineiston perusteella voidaan todeta, että näytteitä on kaiken kaikkiaan otettu varsin tasaisesti eri ilmansuunnista, eikä yleisesti rasisetumpana pidettyä kaakko-, etelä- ja lounasjulkisivua olla suosittu näytteidenotossa. Itse näytteenottoa on myös suoritettu eri tyyleillä. Tämän työn perusteella voidaan todeta, että ulkoseinän eristeen ulkopinnasta otetuissa näytteissä havaittiin enemmän mikrobiepäpuhtauksia. Tässä työssä oli tutkimusotannassa kuitenkin varsin vähän tietoa siitä, mistä kohtaa eristettä näyte oli otettu, että syvempiä päätelmiä ei voitu suorittaa. Varmimpana tapana eristeen näytteen ottoon voidaan pitää yhden näytteen ottamista koko eristeen paksuudelta.

Mikrobitutkimuksessa on huomioitava riittävä laajuus, mikäli halutaan tarkastella rakennuksen kokonaistilannetta. Järkevä näytteenottomäärä riippuu pitkälti rakennuksen koosta ja julkisivupintojen määrästä, mutta ainakin jokaisesta ilmansuunnasta tulisi ottaa näytteitä sekä vaurioepäilyalueiden lisäksi myös vertailunäytteitä. Tarkasteltujen kohteiden tutkimuksissa oli yllättävän vähän perusteltu, miten näytteenottokohta oltiin valittu sekä oliko näyte aistinvaraisesti vaurioituneen oloisesta kohdasta vai ei. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa 2016 on esitetty, että näytteenottokohdasta tehdyt vaurion aistinvaraiset havainnot tulisi kirjata. Vertailunäytteiden otto on lisäksi suositeltavaa ulkoseinärakenteen tarkastelun kannalta, sillä kokonaisuuden hahmottamista edistää se, jos aistinvaraiset havainnot ja mikrobianalyysitulokset voidaan nivoa toisiinsa. Näin voidaan päätellä mitä aluetta näyte edustaa.

Tutkittujen kohteiden näytteidenanalysointi on suoritettu pitkälti saman toimijan toimesta ja laimennossarjamenetelmällä, jota pidetään luotettavana. Analyysitulosten luotettavuuden kannalta olisi suositeltavaa käyttää akreditoituja menetelmiä sekä luotettavia laboratorioita. Analyysitulosten tarkastelussa on huomioitava myös se, että näytteiden otossa sekä viljelyssä on saattanut tapahtua jotain, mikä on kontaminoitunut näytteen, joten tuloksissa on huomioitava virheen mahdollisuus. Tämän työn tuloksien perusteella voidaan todeta, ettei analyysitulosten jakauman perusteella voida tiettyä ulkoseinän osaa pitää erityisesti todennäköisemmin vaurioituneempana kuin muita. Näin ollen kerroksellisen tiiliulkoseinän tutkimus tulisi suorittaa koko ulkokuorta tarkastellen. Ulkoseinän ylä- ja alaosa otetuista näytteistä noin 40 % ei sisältänyt viitteitä mikrobikasvusta ja sokkelin osalta tulos oli noin 50 %. Tuloksen perusteella ei ole perusteltua olettaa, että kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen eristevilla sisältää aina mikrobikasvua. Toisaalta on epäpuhtautta sisältävien näytteiden osa kokonaisotoksesta melko suuri, mutta rakenteen kunnon tarkastelu ei saa perustua pelkkien mikrobihavaintojen tarkasteluun, vaan rakennuksen kuntoa tulee tarkastella kokonaisuutena. Lievää vaurioitumista voidaan pitää vuosikymmeniä vanhassa rakenneosassa vähintäänkin normaalina.

Analyysitulosten perusteella kasvuun viittaavien näytteiden jakautuminen ilmansuuntiin osoittautui myös oletusten vastaiseksi. Sokkelin osalta lounaassa ja lännessä, jotka ovat Suomessa säärasitetuimmat ilmansuunnat, on tulosten perusteella vähiten kasvuun viittaavia löydöksiä. Ulkoseinän ylä- ja alaosien jakaumat olivat puolestaan varsin tasaiset. Ikkunarakenteen tuloksista voidaan todeta, että koillisessa on suurin prosentuaalinen osuus kasvuun viittaavista näytteistä. Tuloksista voidaan kokonaisuudessa todeta, että tiettyä ilmansuuntaa ei voida olettaa todennäköisemmin vaurioituneeksi, joten rakennuksen ulkoseinän kuntoa on aina arvioitava kohdekohtaisesti kokonaisuudessaan. Tämän lisäksi pelkän viistosateen osuutta ulkoseinän eristeen vaurioitumisessa voidaan myös tarkastella kriittisesti esimerkiksi

lounaan vaurio-osuuksien ollessa samaa luokkaa kuin muut ilmansuunnat. On kuitenkin huomioitava, että analysoitu materiaalinäyteotos on varsin pieni, joten kovin painoarvoisia johtopäätöksiä ilmansuuntien vaurioasteesta ei kuitenkaan voida tehdä. Toimenpidesuosituksia annettaessa sekä materiaalianalyysitulosten tulkintaa tehtäessä on kiinnitettävä huomiota ulkoseinärakenteen kokonaisvaltaiseen tarkasteluun, sisältäen muun muassa seinärakenteen tuulettuvuuden. Lisäksi on huomioitava julkisivun epätiivit liitokset, ympäristön kasvillisuus, maanpinnan muodot sekä viistosateen ja tuulen vaikutukset.

Mikrobinäytetutkimusten raportoinnissa on myös selkeyttämisen tarvetta. Tutkimusaineiston raporttien tarkastelusta voidaan todeta, että epäselvän raportin tulkitseminen vaatii lukijaltaan paljon työtä. Suurimpia ongelmia on tiedon epäselvä jaottelu raporttiin useampaan kohtaan, mikä pahimmillaan tarkoittaa sitä, että lukija joutuu itse kokoamaan tiedon yhteen. Muita todettuja ongelmia on mikrobinäytteiden epäselvä merkintätapa. Pitkät koodit ja samankaltaiset merkinnät eivät erotu laajempien tutkimusten datasta. Saman numeroinnin käyttöä kahdelle eri näytteellekin esiintyi. Lisäksi osan tutkimuksen kohdalla tulosten analysointia vaikeutti pohjapiirustuksista puuttuvat ilmansuunnat ja muutamasta tutkimuksesta puuttui jopa tieto näytteidenottokohdasta.

Hyväksi ja selkeäksi tavaksi esittää mikrobitutkimukset voidaan pitää näytteenottokohdan esittäminen julkisivupiirustuksessa käyttäen ”liikennevalo”-värikoodia kasvuvitteen havainnoimiseksi. Ulkoseinän kunnan arvioimisen kannalta hyväksi merkintätavaksi todettiin myös raportointitapa, jossa näyte joka sisältää kosteusvaurioindikaattorimikrobisukuja on merkattu kuvan omalla värillä, vaikka viitearvot eivät varsinaisesti ylittyisikään. Näin voitaisiin havainnoida kohtia, joissa on mahdollisesti ollut kosteutta. Piirustuksesta tulisi myös käydä ilmi ilmansuunnat niin, että lukijan ei tarvitse itse hakea rakennuksen julkisivujen suunnat. Näin lukija pystyy yhden kuvan perusteella havainnoimaan näytteiden määrää, sijaintia ja julkisivun vaurioepäiltyjen kohtien kuntoa. Tämän lisäksi näytteiden nimeämiseen ja numerointiin tulisi kiinnittää huomiota. Hyvin pitkiä koodeja tulisi välttää. Lisäksi nimeen on hyvä liittää informaatio näytteenottokohdan kunnosta. Liitteenä olevan julkisivupiirustukseen merkittyjen näytteiden lisäksi itse raporttiin olisi hyvä listata näytteet sekä niiden analyysitulokset. Selkeyden kannalta tutkimusraportin tiivistelmässä olisi hyvä esiintyä koko näyteotoksen suuruus. Olisi myös hyvä painottaa puhtaiden löydösten määrää, sillä näytteenottokohdat kohdistetaan usein aistivaraisesti vaurioituneimpiin kohtiin, jolloin pelkkien vaurioon viittaavien näytteiden esilletuonti antaa väärän käsityksen rakennuksen kokonaistilasta.

7.4 Altistumisolosuhteen arviointi

Diplomityössä osalle kohteista suoritettiin TTL:n mukainen altistumisolosuhteen arvio. Suurimassa osassa haitallinen altistuminen arvioitiin mahdolliseksi, mutta osassa rakennusta todennäköiseksi. Näiden kohteiden korjaustoimenpiteet ovat olleet tai on suunniteltu olevan paikkakorjauksia sekä ilmatiiveyden parantamisia. Paikkakorjauksia on myös suunniteltu epätodennäköisen arvion saaneille kohteille. Ne kohteet, jossa julkisivun purku oli joko tehty tai suunnitteilla, oli altistumisolosuhteen arvio todennäköinen. Tämän tarkastelun perusteella voidaan todeta, että tehdyt korjaustoimenpiteet korreloivat suhteellisen hyvin altistumisolosuhdearvioiden kanssa. Huomioitavaa on, että kohteiden ulkoseinän laajempi lämpö- ja kosteustekninen tarkastelu sekä julkisivun rakenteellinen tarkastelu on jäänyt vähäisemmälle. Epätodennäköisen ja mahdollisen osalta korjaustoimenpiteet ovat kuitenkin samat, mikä on puolestaan ristsiriitaista. Toisaalta paikkakorjaus korjaustoimenpiteenä voi käsittää

laajuudeltaan hyvin erilaisia korjaustoimenpiteitä. Tämän työn aineistosta puuttui tarkemmat tiedot korjaustoimenpiteiden sisällöstä, joten tarkempien analyysien tekeminen ei ole mahdollista. Tarkastelusta voidaan myös huomata, että kohteessa F tehdyt tilakohtaiset ilmatiiveyden parannuskorjaukset laskivat altistumisolosuhteen arvion epätodennäköiseksi kyseisissä tiloissa. Näin tiivistystoimenpiteiden vaikutusta sisäilmaan voidaan katsoa positiiviseksi.

Työn perusteella voidaan todeta kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen vaikutuksesta sisäilmaan, että yleisin altistumisolosuhteen arvion todennäköisyyttä määrittelevä tekijä on ilmatiiveyspuutteet yhdessä eristemateriaalien epäpuhtauksien, kuten kuitujen ja mikrobien kanssa. Eristemateriaalissa olevat epäpuhtaudet voivat siirtyä rakenteen epätiiviyyskohdista sisäilmaan, mikäli huonetila on alipaineinen ulkoilmaan nähden. Näin ollen voidaan todeta, että tämän ulkoseinärakenteen yleisin puute on, kuten yleisesti on oletettukin, ilmatiiveydessä, jolloin epäpuhtauksille altistuminen on mahdollista.

Altistumisolosuhteen arvioon vaaditaan kokonaisvaltainen tutkimus, jotta se voitaisiin tehdä Työterveyslaitoksen esittämällä menetelmällä. Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen vaikutusta sisäilmaan voidaan arvioida melko hyvin, mikäli luvussa 3.2.1 esitetyt tutkimusosat täyttyvät. Näin ollen antaa arvion tekeminen hyvän pohjan rakennuksen kokonaisvaltaiseen tutkimiseen. Hyvin suppeat ja rajatut tutkimukset eivät kerro koko rakennuksen tilaa ja ovat monesti näin ollen huonoja korjaustarpeen arvioinnissa. Yksittäisellä ja suppealla korjauksella ei välttämättä paranneta rakennuksen ongelmia ja pahimmassa tapauksessa ongelmat lisääntyvät. TTL:n taulukon noudattaminen voi helpottaa tutkimuskokonaisuuksien määrittelemistä, varsinkin, jos yhden toimijan kokonaisvaltainen kuntotutkimus ei ole mahdollista toteuttaa. Tällöin voitaisiin harkita tarvittavien tutkimusosuuksien jakamista eri toimijoille, mutta niin, että kokonaisuus pysyy hallittuna. Arvioon vaadittavat tiedot koottaisiin monien tutkimusten tuloksista. Tässä on kuitenkin huomioitavaa, että tutkimukset tulisi suorittaa lyhyen ajan sisään, ilman että korjaustoimenpiteitä on suoritettu tutkimusten välissä.

Altistumisolosuhteen arviointi on myös käyttökelpoinen kohteiden välisessä korjaustarpeen ja kiireellisyyden vertailussa, sillä sen tekeminen vaatii samojen tutkimusosien täyttymisen ja arvio suoritetaan samalla tavalla. Toisaalta arvio ei ota kantaa rakenteiden tekniseen kuntoon, vaan arvioi enemmän sisäilmaolosuhteita. Altistumisolosuhteen arvion hyödyntämistä sellaisenaan kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kuntotutkimuksessa voidaan näin ollen kyseenalaistaa arvion painottuessa epäpuhtauksien arvioimiseen. Tämä taas painottaa mikrobihavaintojen arvioimista, vaikka rakenteellista tarkastelua ja elinkaariajattelua tulisi korostaa enemmän kuntotutkimuksissa. Järkevän korjausmenetelmän määrittäminen tulee sisältävä myös rakenteellista tarkastelua. Raskaiden korjausmenetelmien, eli ulkoseinän ja julkisivun purkua suositellaan osittain varsin kevyillä tutkimuksilla ja havainnoilla. Mikäli julkisivu ja ulkoseinän rakennekerrokset ovat rakenteellisesti edes melko hyvässä kunnossa, on purkutoimenpiteet pelkkien eristeen mikrobiepäpuhtauksien esiintymisen perusteella lähtökohtaisesti selkeää ylikorjaamista.

7.5 Suositukset ja jatkotutkimusehdotukset

Kerroksellisen tiiliulkoseinän rakenteelliseen kuntoon ja lämpö- ja kosteustekniseen toimivuuteen liittyy monia tekijöitä, joita tulee huomioida kunnan sekä sisäilmaan vaikutusten arvioinnissa. Työn tutkimuksen sekä teoriatarkasteluiden perusteella on laadittu taulukko, jossa on esitetty kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kannalta oleelliset tutkimusmenetel-

mät, sekä miten ne tulisi suorittaa. Tärkeänä havaintona on kokonaisuuden hallinta, eli yksittäisen tutkimusosan perusteella ei voida kattavasti arvioida rakenteen lämpö- ja kosteusteknisiä toimivuutta sekä rakenteen vaikutusta sisäilmaan. Taulukoissa 22 ja 23 on esitetty tutkimuskohtaiset ohjeet sisä- ja ulkopuolisille tutkimuksille. Taulukoiden väriyksellä on määritelty ne tutkimusmenetelmät, jotka tulisi lähtökohtaisesti aina suorittaa. Taulukoiden avulla erityisesti tilaaja pysty tarkastelemaan, mitä tekijöitä rakennetyypin tutkimisessa tulisi huomioida, ja mitä tutkimuskokonaisuuksia olisi suositeltavaa tilata. Tärkeänä huomiona taulukossa on aistinvaraisten havaintojen sisällytys kaikkiin tutkimusosa-alueisiin, sillä näin on tutkimustuloksia mahdollista verrata koko rakennuksen kannalta ja määrittellä faktoihin perustuen, mitä aluetta havainto edustaa.

Todennäköisesti tulevaisuudessa rakennusten korjaustoimenpiteiden määrittämisessä hyödynnetään TTL:n ohjeiden mukaista altistumisolosuhteiden arviointia. Huomioitavaa on, että taulukoiden 22 ja 23 avulla pystytään myös teettämään sellaisia tutkimuskokonaisuuksia, jotka täyttävät TTL:n ohjeen mukaiset osa-alueet arvion suorittamiselle ulkoseinärakenteen osalta. Esimerkiksi TTL:n ohjeessa on maininta sisäilman muiden epäpuhtauksien määrittelystä, joka huomioidaan ulkoseinän kannalta ilmatiiveysmittausten avulla.

Teoriatarkastelun sekä tutkimusotannan havaintojen perusteella on muodostettu taulukko 24, jossa on esitetty toimenpidesuosituksen ja korjauslaajuuden määrittäminen tutkimushavaintojen mukaan. Taulukon 24 yhteys taulukoihin 22 ja 23 on siinä, että 22 ja 23 ohjeistavat tutkimuksen suorittamiseen ja niiden perusteella tehtäviin havaintoihin ja 24 toimenpidesuosituksen tekemiselle ja korjauslaajuuden määrittämiselle edellä saatujen havaintojen mukaan. Ilmatiiveyden parantamistoimenpiteet on määritelty ilmatiiviyden tavoitetasojen mukaan¹⁶⁹, jossa korjaustasot ovat tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellisen vaativa. Huomioitavaa on myös, että kuntotutkijaa kuulematta ei tulisi hankesuunnittelussa muuttaa korjaustoimenpiteitä ainakaan laajemmiksi, koska siten syntyy riski ylikorjaamiselle.

Tässä diplomityössä käsiteltiin kohteiden tutkimuksia ja johtopäätöksiä sekä niiden suhdetta toimenpidesuosituksiin. Tarkastelematta jäi kuitenkin johtopäätöksiä ja toimenpidesuositusten perusteella tehty korjaustoimenpiteet ja niiden onnistuminen. Jatkotutkimussuosituksia olisikin kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen toimenpidesuositusten suhteet tehtyihin korjauksiin sekä korjausten vaikutus koettuun sisäilmaan. Korjausten vaikutusta sisäilmaan voitaisiin esimerkiksi tarkastella suorittamalla altistumisolosuhteen arviointi ennen korjauksia sekä korjausten jälkeen. Näin altistumisolosuhteen arvion suorittamisen käyttökelpoisuutta kohteen korjausten onnistumisen arvioimisessa voitaisiin tutkia tarkemmin.

Muita jatkotutkimusehdotuksia olisi syventyä tarkemmin ja laajemmalla otannalla mikrobi-analyysien tuloksiin, kuten missä ilmansuunnassa tai rakenteessa on suurin vaurio todennäköisyys sekä mitä mikrobisukuja kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen osista löytyy ja mitkä ovat yleisempiä. Kyseistä aihetta tarkasteltiin osittain jo tässä työssä, mutta tulosten luotettavuuden kannalta varsin suppealla otannalla.

Työssä todettiin selkeä tarve laatia Helsingin kaupungille tarkka tutkimusohjeistus tutkitulle rakenneosalle. Vastaavanlaista ohjeistusta suositellaan toteutettavaksi myös muillekin rakennetyypeille, kuten esimerkiksi välipohjille, jossa on orgaaninen täyttö.

¹⁶⁹ Repo, J. Betonirakenteiden ilmatiiviyden hallinta sisäilmakorjauksissa. Liite 1

Taulukko 22. Ohjeistus ulkoseinätutkimuksien suorittamiseen ja kokonaistarkasteluun (sisäpuoliset menetelmät). Vihreät tutkimukset ovat lähtökohtaiset tutkimusmenetelmät ja keltaiset täydentäviä tutkimusmenetelmiä.

Tutkimusmenetelmä	Lähtökohdat / tutkimuslaajuus	Tehtävät tutkimushavainnot?	Toimenpidesuositus
Lähtötiedot	Ainakin tutkittavan rakenteen sekä liittyvien rakenteiden rakennetyypit ja yksityiskohtapiirustukset	-Mikä on sisäkuorirakenne? -Liitosrakenteiden tyyppi ja teoreettiset puutteet? -Riskirakenteet? -Rakennuksen sijainti ja maaperä?	Tutkimuslaajuuden määrittely mm: -Rakenneavauksien määrä ja sijainti -Huomioiden myös riskirakenteet
Aistinvaraiset havainnot	-Tehdään aina kuntotutkimusten yhteydessä. -Riskikohdat, muutoin pistokoeluontotesti, edustus eri julkisivuilta ja kerroksista. -Tarvittaessa tarkentaen tiettyä aluetta. -Tehdään myös muiden tutkimusten yhteydessä, jotta havaintojen avulla saadaan kuva koko rakennuksesta	Onko US-rakenteessa: -Halkeamia? -Liittymissä tai rakenteiden liitoskohdissa rakoja? -Mikä on maalipinnan kunto? Ikkunat: -Huonokuntoiset ja vaurioituneet? -Epätiiveyttä ikkunarakenteessa? -Merkkisavun avulla ilmavuodot/niiden suunta? -Onko näkyviä kosteusvaurioita? -Riskialttiita rakenneratkaisuja?	-Yksittäisiä tiivistyksiä (ikkunatiivisteet, läpiviennit yms.). -Kosteushavaintojen selvitys rakenneavauksilla ja pintakosteuskartoituksella Jatkotutkimuslaajuuden määrittely mm: -Rakenneavauksien määrä ja sijainti -Huomioiden alustavasti myös riskirakenteet
Painesuhteet	-Lähtökohtaisesti suoritettava tutkimus aistinvaraisten havaintojen tueksi -Selvitetään eri IV-koneiden palvelualueet -Mittaukset eri ilmansuuntia edustavasti -Jatkuvatoiminen ulko-/sisäilman välinen painesuhteen seurantamittaus. -Mittausajanjakso vähintään 7 vrk, jolloin mukana myös viikonloppu ja illat. -Peruskorjaushankkeissa harkinnan mukaan.	-Onko sisäilma alipaineinen? -Onko ilmanvaihtokoneiden käyntiajassa ongelmia? -Aiheuttaako IV-koneet alipaineipiikkejä? -Onko sisäilmassa haitallisen korkea ylipaine?	-Ilmamäärien säädöt tilakohtaisesti ja koko rakennuksen osalta (Huom! Ei tule tehdä pelkästään yksittäisissä tiloissa). -Ilmanvaihtokoneen käyntiaikojen tarkastus ja säätö. -Suunnittelijan tai rakennusautomaatioasiantuntijan tekemä tarkastus.
Pintakosteuskartoitus	-Lähtökohtaisesti suoritettava tutkimus aistinvaraisten havaintojen tueksi. -Pistokoeluontoinen, tarvittaessa tarkentaen.	Onko kohonneita pintakosteuksia: -US alaosa/lattialiittymässä? -Leukapalkki/YP liittymässä? -Ikkunan ympärillä? (kokonaisuus huomioiden, hyvin paikalliset saattavat johtua mittausepä-tarkkuudesta)	-Tarkentavat kosteusmittaukset tarvittaessa. Lähtötietona: -Materiaalinäytteiden sijainnille -Rakenneavausten sijainnille
Merkkiai-nekoe (RT 14-11197)	-Lähtökohtaisesti suoritettava tutkimus aistinvaraisten havaintojen tueksi. -Vähintään yhdestä tilasta jokaisesta rakennetyypistä, (esim. sekä betoni-sisäkuori, että tiilirakenteinen sisäkuori). -Ennen merkkiai-nekoetta, voidaan ottaa materiaalinäyte mikrobianalyysiä varten merkkiai-nekoetta varten tehdystä rakenneavauskohdasta. -Merkkiai-nekoe suoritetaan ainoastaan alipaineessa. Hetkellinen painesuhde tutkimuksen yhteydessä selvitettävä.	-Onko ilmavuotoja? -Ilmavuotojen sijainti ja voimakkuus? -Tiiveystarkastelun tulokset tulkitaan yhdessä paine-erotutkimusten tulosten kanssa.	Epätiiveyden laajuudesta riippuen: -Yksittäisen liittymän tiivistys -Tilakohtainen tiivistys tai -Kattava sisäkuoren tiivistys, (kap-selointi/pinnoitus jos puhtaaksi-muurattu sisäkuori) mikäli epä-tiiveydestä todetaan haittaa rakenteen toiminnalle, energiate-hokkuudelle, asumisterveydelle tai mukavuudelle. -Huomioitava jatkuvatoimiset painesuhteiden mittaustulokset
Lämpöku-vaus (RT 14-112239)	-Kattavasti koko rakennus. -Energiatehokkuustarkastelu. -Ikkunoiden toiminta.	-Onko ilmavuotoja liitosrakenteissa? -Onko eristepuutteita tai kylmäsiltoja? -Kosteusvauriohavainnot vain tapauskohtaisesti harkiten.	-Paikallisia tiivistystoimenpiteitä. -Ikkunarakenteiden kunnostus/uu-distus (tarkat aistinvaraiset ha-vainnot). -Rakenneavaukset havaintojen täydentämiseksi
Haitta-aine-tutkimus (RT 18-11245)	-Esimerkiksi maalit, kiinnityslaastit, tasoitteen sekä sokkelirakenteen bitumisively saattavat sisältää. -Korjauksen hankesuunnittelun yhteyteen. -Sisä- ja ulkopuolinen tarkastelu.	-Onko ulkoseinässä rappaus? -Onko maalattuja metallipintoja? -Onko sokkelirakenteessa käytetty bitumisivelyä? -Onko ikkunarakenteissa laatoituksia, maalattuja osia? -Onko sisäkuoressa tasoite?	-Ei varsinaisia toimenpidesuosituksia. -Tiedoksi mahdollisten korjaustoi-menpiteiden suorittamiseen. -Korjauksessa huomioitava purku-työn ja jätelajittelun erikoisvaati-mukset.

Taulukko 23. Ohjeistus ulkoseinätutkimuksien suorittamiseen ja kokonaistarkasteluun (ulkopuoliset menetelmät). Vihreät tutkimukset ovat lähtökohtaiset tutkimusmenetelmät ja keltaiset täydentäviä tutkimusmenetelmiä.

Tutkimusmenetelmä	Lähtökohdat / tutkimuslaajuus	Tehtävät tutkimushavainnot?	Toimenpidesuositus
Lähtötiedot	Kts. taulukko 22		
Aistinvaraiset havainnot	Tehdään aina kuntotutkimusten yhteydessä, ja suositellaan suoritettavaksi laajasti (nostin korkeammissa rakennuksissa)	<ul style="list-style-type: none"> -Ovatko ikkunapellitysten/karmiliitokset vesitiiviit ja vesipeltien kallistukset riittävät? -Ovatko myrskypellit kunnossa? -Ovatko räystäspellitykset vesitiiviit ja räystäsliitos tuulettuvia? -Mikä on muurausaukkojen ja elastisen saumojen kunto? -Onko julkisivussa värjäytymiä esim. sammaloitumista tai kalkkisuoloja? -Onko halkeamia? -Kasvillisuutta ympärillä/julkisivulla? -Sadevesijärjestelmän lähellä ulkoseinässä/sokkelissa tummumia? -Onko maanpinnan kallistukset pois päin? -Onko betoniraudoituksia esillä? -Onko tiilen alarivin saumauksia auki? 	<ul style="list-style-type: none"> -Myrskypeltien ja sadevesijärjestelmän toimenpiteet. -Ikkunapellitysten kunnostuksia. -Saumojen kunnostuksia. -Paikallisia korjauksia (sokkelin/leukapalkin pinnoitus). -Tarvittaessa tarkempi julkisivun kuntotutkimus
Rakeneavaukset	<p>Voidaan toteuttaa osittain myös sisäpuolelta. Tehdään aistinvaraisten havaintojen ja lähtötietojen perusteella. Selvittävät:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Rakennetyyppi -Liittyvien rakenteiden yksityiskohdat 	<ul style="list-style-type: none"> -Aistinvaraiset havainnot avauksesta ja avauskohdasta (sisäpuoliset vs. ulkopuoliset havainnot). -Onko kosteusvauriojälkiä? -Eriytyisiä hajuhavaintoja? -Mahdolliset orgaaniset materiaalit eristetillä? -Onko eriste kiinni ulkoeristuksessa? -Rakennekerrosten paksuudet? -Ovatko rakenteet vastaavat lähtötietojen suunnitelmiin? -Liittyminen muihin rakenteisiin? -Onko vedenohjaus kunnossa? -Mikä on rakenteen vaurioitumisaste? -Mikä on rakenteen tuulettuvuus? 	<p>Kosteusteknistä toimintaa parantavia korjaustoimenpidesuosituksia kuten:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Vedenohjaukset leukapalkin/sokkelin päältä. -Lämmöneristyspuutteet esimerkiksi nurkkaliittymissä. <p>Täydentää materiaalinäytteiden mikrobianalyyysien tulosten tulkintaa.</p>
Materiaalinäytteiden mikrobialyytit	<ul style="list-style-type: none"> -Näytteenottokohta valitaan rakennesuunnitelmien perusteella sekä aistinvaraisten havaintojen mukaan ja kohdan havainnot sekä perustelu näytteenottokohdalle kirjattava raporttiin. -Näytteitä on otettava eri aistinvaraisesti tulokittujen vaurioasteiden kohdalta (esim. tummunut/sammaloitunut/puhdas) -Rakeneavauksien yhteydessä. -Myös sisäkautta esim. merkkiainetutkimuksen yhteydessä, mutta myös itsenäisesti. <p>Näyte otettava:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Jokaiselta julkisivulta -US alaosa/sokkelin raja -US yläosa -Ikkunan vierestä ja alapuolelta -Arvion mukaan myös US/ikkunaliitoksesta ja sokkelihalkaisusta. -Näyte kattavasti koko eristeen paksuudelta, tapauskohtaisesti paksumman eristekerroksen yhteydessä, näyte sisäpintaa painottaen. 	<ul style="list-style-type: none"> -Onko analyysituloksissa viitettä vaurioon? -Mikä on vaurioon viittaavien suhde vaurioitumattomiin näytteisiin? -Onko vaurioon viittaavat näytteet rajattavilta alueilta? -Mahdollisesti vaurioon viittaava mikrobilaji? <p>Näytteenottokohdan aistinvaraisten havaintojen ja analyysivastauksen perusteella analysoidaan saatu tulos rakenteen toiminnan kannalta.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mistä vaurio saattaa johtua? -Liittyykö vaurio tiettyyn ongelmaan tai rakenneseosan puutteelliseen toimintaan? -Onko epäpuhtaushavainnot systemaattisesti koko rakennukselta? 	<p>Pelkän mikrobialaalyysituloksien perusteella ei toimenpiteitä. Tehtävä myös rakenteellisia tutkimuksia ja tiiveystarkasteluja.</p>
Materiaalinäytteet karbonatisoituminen	<ul style="list-style-type: none"> -Aistinvaraisten havaintojen perusteella. -Täydentävänä tutkimuksena kattavaan julkisivun tutkimiseen. 	<ul style="list-style-type: none"> -Betonirakenteiden karbonatisoitumisvyvyys? -Terästen syvyys? 	<ul style="list-style-type: none"> -Halkeaminen paikkaus. -Raudotteiden puhdistus pinnoitus ja uusi kuori. -Muiden tutkimusten tueksi.
Materiaalinäytteet ohuthie (betoni ja tiili)	<ul style="list-style-type: none"> -Aistinvaraisten havaintojen perusteella. -Tutkimusmenetelmän soveltuvuus harkitaan tapauskohtaisesti. -Täydentävänä tutkimuksena kattavaan julkisivun tutkimiseen. 	<ul style="list-style-type: none"> Betonin ja tiilen rapauma-aste? 	<p>Muiden tutkimusten tueksi.</p>

Taulukko 24. Ohjeistus havaintojen ja johtopäätösten perusteella tehtäviin toimenpidesuosituksiin.

Korjaustapa	Tutkimushavainnot	Toimenpidesuosituks	Korjauslaajuus
Hyvin paikallisia korjauksia	<ul style="list-style-type: none"> - Sisä- ja ulkoilman välinen painesuhde voimakkaasti alipaineine tai jatkuva yli-paine. - Yksittäinen hyvin paikallinen epäkohta (esim. yhden ikkunan liitos epätiivis). - Erittäin vähäisiä määriä ilmavuotoja. - Materiaalinäytteiden tuloksissa pääsääntöisesti puhtaita näytteitä tai heikosti vaurioon viittaavia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden ja puhtau-den tarkastus, ilmamäärien ja painesuhdeiden tarkastus ja säätö, käyntiaikojen tarkastus ja säätö. - Paikalliset pinnoitekorjaukset, huoltotoimenpi-teet. Esimerkiksi tavanomaisen tason ilmatiiveys toimenpiteet ja laadunvarmistus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ilmanvaihto koko rakennuksen kan-nalta. - Paikallisia raken-teellisiä korjauksia
Paikallisia korjauksia	<ul style="list-style-type: none"> - Yksittäisessä rakenteessa puutteita (ik-kuna, sokkeli, leukapalkki, sadevesijär-jestelmä). - Laajemmat pinnoitevauriot. - Joitain ilmatiiveyspuutteita esim. yksit-täinen tila tai rakenneos epätiivis. - Materiaalinäytteiden analyysituloksissa yksittäisiä vaurioon viittaavia näytteitä. Rakenneavausten perusteella todettu lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan olevan riittävä. 	<ul style="list-style-type: none"> - Yksittäisten rakenneosien paikallisia korjauksia esim. ikkunarakenteiden kunnostus, sokkeleiden tai leukapalkkien paikkaus, yksittäisten tiilien vaihto. - Paikallisia ilmatiiveyden parannuksia (tavan-omaisen/vaativan tason suunnittelu ja toteutus sekä laadunvarmistus). - Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden ja puhtau-den tarkastus, ilmamäärien ja painesuhdeiden tarkastus ja säätö, käyntiaikojen tarkastus ja säätö. - Sadevesijärjestelmän paikalliset huoltokorjaus-toimenpiteet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Paikallisesti tai ra-kenneosa-kohtai-sesti
Kattava ilmatiiveyden parantami-nen ja kos-teusteknisen toiminnan varmistami-nen	<ul style="list-style-type: none"> - Systemaattisia ja laajoja ilmatiiveyspuut-teita. Ulkopuoliset saumat ja liitokset epätiivit. - Materiaalinäytteiden analyysituloksissa todettu vaurioon viittaavia mikrobipitoi-suuksia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Poikkeuksellisen vaativa ilmatiiveyden korjaus-taso. Liitosrakenteiden tiivistys ja laadunvarmis-tus vaativana/poikkeuksellisen vaativana työnä. Puhtaaksimuuratun sisäkuoren kapselointi/pin-noitus ja laadunvarmistus. - Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden ja puhtau-den tarkastus, ilmamäärien ja painesuhdeiden tarkastus ja säätö, käyntiaikojen tarkastus ja säätö. Painesuhdeiden säätö vastaamaan muuttuneita olosuhteita. Ulkopuolisen vesitiiveyden korjaus. - Sadevesijärjestelmän laajat parannukset. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ilmatiiveyden pa-rantaminen koko rakennuksen sisä-kuorelle. - Aina laajan tiivistys-korjauksen jälkeen ilmanvaihdon säätö - Kosteusteknisen toiminnan varmista-minen koko ulkosei-närakenteelle.
Osittainen purku ja liittyvien rakenteiden korjaus	<ul style="list-style-type: none"> - Merkittäviä sisäkuoren ilmatiiveyspuut-teita. - Ulkokuoressa paikallista rapaumaa/vau-rioita aistinvaraisesti ja rakenneavauk-sella todettu. Liittyvissä rakenteissa rapaumaa, jonka korjaus vaatii osittaisia purkua. - Merkittäviä sadevesiohjauksen puut-teita, esim. maankallistukset ja ikku-napellit puutteellisia. - Materiaalianalyysituloksien perusteella paikallisesti ja rajattavissa olevalla alu-eella vaurioon viittaavia näytteitä, muu-ten puhtaita tai heikosti viittaavia näyt-teitä. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kattava sisäkuoren ilmatiiveyden parannus vaati-vana/poikkeuksellisen vaativana työnä. - Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden ja puhtau-den tarkastus, ilmamäärien ja painesuhdeiden tarkastus ja säätö, käyntiaikojen tarkastus ja säätö. - Painesuhdeiden säätö vastaamaan muuttuneita olosuhteita. - Julkisivun tai sisäkuoren purku rajatulta alueelta. Liittyvien rakenteiden korjaus/pinnoitus/ toimin-nan parantaminen. - Eristeiden ja rakenteen uusiminen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Osittain julkisivu/ul-koseinän sisäkuori (jos tiilirakenteinen sisäkuori). - Huomioitava ulko-seinän kantavat ra-kenteet. - Aina laajan tiivistys-korjauksen jälkeen ilmanvaihdon säätö.
Kattavat ulkoseinän purkukor-jaukset	<ul style="list-style-type: none"> - Ulkokuoressa merkittävää rapaumaa, ra-kenteellinen kunto huono aistinvarai-sesti, rakenneavauksilla ja materiaalitut-kimuksilla (karbonatisoitumissyvyys /ohuthie). - Merkittäviä ja systemaattisia ilmavuo-toja ulkoseinän liittymissä. - Materiaalinäytteiden analyysituloksissa todettu vaurioon viittaavia mikrobipitoi-suuksia (laajan mikrobitutkimuksen tu-los, yli puolet voimakkaasti viittaavia). 	<ul style="list-style-type: none"> - Julkisivu ja eristeiden uusiminen sekä sisäkuoren tiivistäminen vaativana/poikkeuksellisen vaati-vana työnä. - Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden ja puhtau-den tarkastus, ilmamäärien ja painesuhdeiden tarkastus ja säätö, käyntiaikojen tarkastus ja säätö. - Painesuhdeiden säätö vastaamaan muuttuneita olosuhteita. Mikäli tiilisäkuori, niin voidaan to-teuttaa myös sisäkautta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Koko rakennuksen ulkovaippa. - Aina tiivistyskor-jauksen jälkeen il-manvaihdon säätö.

8 Yhteenveto

Helsingin kaupungin käynnistämän diplomityöhankkeen tavoitteena oli verrata 1960-1980 – luvun kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteelle toteutettujen tutkimushavaintojen ja toimenpidesuosittelujen johdonmukaisuutta sekä arvioida ulkoseinän vaikutusta sisäilmaan. Lisäksi tavoitteena oli muodostaa ohjeistus ulkoseinärakenteiden tutkimiselle ja korjaustavoille. Kerroksellisen ulkoseinärakenteen tutkiminen liittyy usein sen kosteustekniseen toimintaan sekä ilmatiiveyteen mutta myös rakennetekniseen tarkasteluun. Ulkoseinän toiminnan kannalta tarkasteltavia tekijöitä ovat esimerkiksi ulkovaipan kastuminen viistosateesta, rakenteen kuivumismahdollisuudet, eristerakenteen vaurioaste sekä sisäpuolinen ilmatiiveys.

Tutkimusaineistona oli 18:ssa Helsingin kaupungin omistamassa kohteessa tehty ulkoseinään liittyvät eri puitesopimuskonsulttien tekemät tutkimusraportit. Tutkimushavaintojen ja toimenpidesuosittelujen johdonmukaisuutta arvioitiin tutkimuslaajuuden perusteella. Laajuudet jaoteltiin tutkimusten sisältämien tutkimusmenetelmien mukaan sekä niiden kattavuuden perusteella suppeisiin (joko tilan tai tutkimusmäärän perusteella), melko kattaviin sekä laajoihin tutkimuksiin. Työssä tarkasteltiin lisäksi kohteista kerättyjen materiaalinäytteiden mikrobianalyysituloksia. Tarkasteltavia seikkoja on näytteenottokohdan sijainti ulkoseinärakenteessa, näytteenottokohdan ilmansuunta sekä analyysitulokset. Ulkoseinärakenteen vaikutusta sisäilmaan arvioitiin altistumisolosuhteiden arvion perusteella Työterveyslaitoksen ohjeen mukaan. Ohjetta sovellettiin myös tutkimuslaajuuksien määrittämisessä.

Ulkoseinää käsittelevien tutkimusten laajuudet havaittiin olevan usein suppeita tutkimuksia ja selvityksiä. Yleisin tutkimusmenetelmä oli sisätilan aistinvarainen havainnointi. Työssä todettiin, ettei suppea tutkimus itsessään riitä rakennuksen kokonaisvaltaiseen arvioimiseen, mutta suppeilla tutkimuksilla voidaan arvioida mitä osa-alueita kuntotutkimuksessa tulee huomioida sekä tutkimusmenetelmien että rakenteiden osalta. Yleiseksi ongelmaksi tutkimuksissa todettiin kerroksellisen tiiliseinärakenteen ilmatiiveyspuutteet eri liitosrakenteissa. Myös ulko- ja sisäilman välisissä paine-eroissa oli usein ongelmia, kuten voimakas sisäilma alipaine, joka viittaa usein virheelliseen ilmanvaihdon toimintaan. Ulkoseinärakenteelle kohdistuvien toimenpiteiden lisäksi tuleekin korjaustöissä aina huomioida ilmanvaihtoon kohdistuvat toimenpiteet, jotta painesuhteet saadaan tasapainoiseksi. Työn teoriaosuudessa todettiin, että kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kuivumiskyky on heikko eristeen ja ulkokuoren välillä puuttuvan avoimen tuuletusvälin takia. Toimenpidesuosituksissa tulisikin kiinnittää huomioitava sisäkuoren ilmatiiveyden lisäksi ulkokuoren sadevesitiiveyteen ja veden poisjohtamiseen, jotta kerroksellisiin tiiliulkoseinärakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta voitaisiin vähentää. Ongelmaksi todettiin myös puutteelliset raportointitavat, jossa tutkimuksen havainnot ja johtopäätöksiä ei ole esitetty selkeästi. Näin ollen raportin tärkeimmät havainnot, toimenpidesuosittelut ja johtopäätökset eivät välttämättä välity kuntotutkimuksen tilaajalle riittävässä määrin. Kattavammassa tutkimusraportissa tulisi olla selkeästi jäsennelty tiivistelmä, jotta tehty tutkimus ja laajuus, tärkeimmät havainnot ja toimenpidesuosittelut käyvät ilmi.

Tutkimusraporttien perusteella suurin osa suoritetuista tutkimuksista ja niiden toimenpidesuosituksista olivat johdonmukaisia tutkimuslaajuuteen nähden. Eniten epäjohdonmukaisia toimenpidesuosituksia todettiin tutkimuslaajuuksiltaan melko kattavissa tutkimuksissa. Yleisin syy epäjohdonmukaisuudelle oli ulkoseinään kohdistuvien purkusuosittelujen ehdottaminen herkästi pelkkien mikrobiepäpuhtaushavaintojen perusteella tarkastelematta analyysituloksia muiden havaintojen suhteen. Kerroksellisen ulkoseinärakenteen luotettavaan

korjaustavan valinnan perusteeksi tulee sisällyttää kattavat rakenteelliset tutkimukset niin sisä- kuin ulkopuoleltakin. Materiaalinäytteiden mikrobianalyysien tulee olla vain muita tutkimuksia täydentävässä osassa johtopäätöksiä ja toimenpidesuosituksia tehtäessä. Muita havaintoja tutkimusotannan toimenpidesuosituksista oli joidenkin tutkimusraporttien sisältämä kaksijakoinen toimenpidesuositus, jossa ensimmäisenä vaihtoehtona ehdotetaan ilmatiiviyden parantamista, mutta toisena vaihtoehtona suositellaan ulkoseinärakenteen uusimista. Tämä esitystapa on asianmukainen, jos se esitetään niin, että ilmatiivyyden parantaminen on ensisijainen korjausmenetelmä ennen peruskorjausta, jolloin ulkoseinärakenteen purkutarvetta tulee arvioida uudestaan. Esitystapa, joka antaa mielikuvan siitä, että ilmatiivyydenparannus ei olisi pätevä korjausmenetelmä, tulisi välttää. Korjaustoimenpiteiden valinnan ja korjausten onnistumisen kannalta tulisi tutkimusten toimenpidesuositukset suhteuttaa tutkimuslaajuuteen, ja korjaussuosituksen tulisi perustua johdonmukaisesti tutkimusten johtopäätöksiin.

Materiaalinäytteiden mikrobianalyysi keskittyi usein ulkoseinän alaosan tutkimiseen. Ulkoseinän yläosaa tutkittiin suhteellisen kattavasti. Sokkelihalkaisun osuus oli selvästi pienempi verrattuna ulkoseinän näytemääriin. Ikkunarakenteen osuus oli hyvin pieni kokonaisotannasta. Näin ollen on sokkelirakenteen ja varsinkin ikkunarakenteen otanta liian suppea yleisten johtopäätösten toteuttamisen perusteeksi. On todennäköistä, että materiaalinäytteet painottuvat ulkoseinän alaosaan, koska mahdollisten vaurioiden oletetaan sijaitsevan siellä. Työssä tarkastelluissa mikrobianalyysitulosten jakaumassa havaittiin kuitenkin, että eri tutkittujen rakenneosien vaurioviitejakaumat olivat varsin lähellä toisiaan. Ulkoseinän ylä- ja alaosan sekä ikkunarakenteen materiaalinäytteissä todettiin noin 40% puhtaita ja 60 % vaurioon viittaavia näytteitä. Sokkelin jakauma oli noin 50% puhtaita ja 50 % vaurioon viittaavia näytteitä. Näytteenottokohdat havaittiin jakautuvan varsin tasaisesti eri ilmansuuntiin, eikä yksittäinen ilmansuunta erottunut vaurioitumisasteeltaan muista ilmansuunnista. Tutkimusotanta oli kuitenkin varsin pieni tarkempien analyysien suorittamiselle. Pelkän viistosateen osuutta eristeen vaurioittajana voidaan kuitenkin kyseenalaistaa. Kosteuden tunkeutuminen ulkoseinärakenteeseen johtuu sateen lisäksi myös muista tekijöistä, kuten epätiiviistä liitoskohdista, halkeamista, ympäristön kasvillisuudesta, maanpinnan kaltevuudesta ja muodoista sekä tuulesta. Analyysitulosten jakauman perusteella ei tiettyä ulkoseinän osaa tai ilmansuuntaa voida pitää erityisesti todennäköisemmin vaurioituvana kuin toista, eikä ole perusteltua olettaa, että kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen eristevilla sisältää aina mikrobi kasvua.

Materiaalinäytteiden ottamisessa sekä näytteenottokohdan aistinvaraisten havaintojen toteuttamisessa oli myös eroavaisuuksia. Ainoastaan pienessä osassa tutkimuksista kävi selvästi ilmi näytteenottokohdan aistinvarainen kunto sekä oliko näytteenottoa aistinvaraisesti tarkastellen vaurioepäilty alue vai ei. Kokonaisvaltaisen ulkoseinärakenteen rakenteellisen kunnan arvioimiseksi tulisi näytteenottokohdasta tehty aistinvaraiset havainnot todeta ja kirjata myös raportteihin. Lisäksi materiaalianalyysitulosten esittämisessä havaittiin suuria eroavaisuuksia. Osassa raporteista oli näytteenottonumerot mikrobianalyysituloksineen esitetty raportissa taulukossa, ja osassa tekstin seassa. Liitteissä tulokset oli esitetty pohja- tai julkisivupiirustuksissa. Julkisivupiirustuksissa mikrobi tutkimuksien näytteenottokohdan esittäminen käyttäen ”liikennevalo”-värikoodia kasvuviihteen havainnoimiseksi todettiin hyväksi ja selkeäksi esittämistavaksi. Raportissa esitystavaksi suositellaan taulukkoa, jossa käy ilmi näytteen nimi, ottokohta, aistinvaraiset havainnot ottokohdasta sekä analyysituloksen mukainen vaurioviite.

Kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen vaikutusta sisäilmaan analysoitiin altistumisolosuhteen arvion avulla TTL:n ohjeen perusteella. Useassa kohteessa todettiin haitallisen altistumisolosuhteen olevan mahdollinen ja osittain todennäköinen. Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen ilmatiiviyspuutteet voivat yhdessä eristemateriaalien epäpuhtauksien, kuten kuitujen ja mikrobien, kanssa olla merkittävin sisäilman haitallista altistumisen todennäköisyyttä määrittävä osatekijä. Eristemateriaalissa olevat epäpuhtaudet voivat siirtyä rakenteen epätiiviyshaudista sisäilmaan, mikäli huonetila on alipaineinen ulkoilmaan nähden. On kuitenkin huomioitava, että altistumisolosuhteen arviointi oli mahdollista tehdä vain yhdeksälle kohteelle, joissa tutkimukset oli tehty riittävän kattavasti luotettavan arvion tekemiseksi. Altistumisolosuhteen arvioon vaaditaan kokonaisvaltainen tutkimus, jotta se voitaisiin tehdä TTL:n menetelmällä. Arvion suorittaminen voi näin ollen antaa hyvän suuntauksen rakennuksen kokonaisvaltaiseen tutkimiseen. Tutkimuksemme perusteella altistumisolosuhteen arviointi on käyttökelpoinen kohteiden välisessä korjaustarpeen ja kiireellisyyden vertailussa, sillä sen tekeminen vaatii samojen tutkimusosien täyttymisen, ja arvio suoritetaan kaikille kohteille samalla tavalla. Arvion hyödyntämistä sellaisenaan kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kuntotutkimuksessa voidaan kuitenkin kyseenalaistaa arvion painottuessa epäpuhtaushavaintojen arvioimiseen. Järkevän korjausmenetelmän ja laajuuden määrittämiseksi tulee tehdä aina kattavat rakenteelliset tarkastelut. Mikäli julkisivu ja ulkoseinän rakennekerrokset ovat rakenteellisesti edes melko hyvässä kunnossa, on purkutoimenpiteet pelkkien eristeen mikrobiepäpuhtauksien esiintymisen perusteella lähtökohtaisesti kohtuutonta.

Kerroksellisen tiiliulkoseinän rakenteelliseen kuntoon ja toimivuuteen liittyy monia tekijöitä, joita tulee huomioida kunnon sekä sisäilmaan vaikutusten arvioinnissa. Työn tutkimuksen sekä teoriatarkasteluiden perusteella laadimme ohjetaulukot, joissa on esitetty kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen kannalta tärkeimmät tutkimusmenetelmät ja niiden perusteella tehtävät toimenpidesuosituksot. Rakenneteknisten tutkimusten tueksi toteutettavat materiaalinäytteiden otannassa on huomioitava riittävä laajuus, mikäli halutaan tarkastella rakennuksen kokonaistilannetta. Järkevä näytteenottomäärä riippuu rakennuksen koosta ja julkisivupintojen määrästä. Kattavassa tutkimuksessa näytteitä tulisi ottaa ainakin jokaisesta ilmansuunnasta sekä ulkoseinän ylä- ja alaosa, sisältäen myös sokkeliliitoksen, ikkuna alta, ikkunan vierestä ja arvion mukaan myös ulkoseinä-ikkunaliitoksesta ja sokkelihalkaisusta. Näytteiden otannassa tulee huomioida vaurioepäilyalueiden lisäksi myös vertailunäytteitä. Toimenpidesuosituksia annettaessa tulee huomioida, ettei yksittäisen tutkimusmenetelmän perusteella voida kattavasti arvioida rakenteen lämpö- ja kosteusteknisiä toimivuutta sekä rakenteen vaikutusta sisäilmaan. Toimenpidesuositusten tulisi perustua rakennuksen kokonaisvaltaiseen tarkasteluun, joka sisältää kohdetietoihin perehtymisen, aistinvaraisia havaintoja, ilmatiiveystarkasteluita, sisä- ja ulkoilman välisten painesuhteiden määrittämisen sekä rakenneavauksia.

Tutkimuksemme perusteella suosittelemme syventymään tarkemmin ja laajemmalla otannalla mikrobianalyysien tuloksiin, kuten missä ilmansuunnassa tai rakenteessa on suurin vauriotodennäköisyys sekä mitä mikrobisukuja kerroksellisen tiiliulkoseinärakenteen eri osista voidaan todeta. Johtopäätöksien ja toimenpidesuositusten perusteella tehtyjen korjaustoimenpiteiden vaikutusta sisäilmaolosuhteisiin olisi hyödyllistä tutkia esimerkiksi altistumisolosuhteen arvion perusteella. Jatkotutkimuksissa tutkimuksemme mukaista selvitystä kannattaisi tehdä myös muille rakennetyypeille, kuten orgaanisesti täytetyille välipohjille.

Lähdeluettelo

Asikainen, V. (toim.). (2008). Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Osa 1: Kiinteistön omistajan opas sisäilmaongelmaisten koulurakennusten kunnon tutkimiseen ja korjaushankkeisiin. Espoo. 30 s. ISBN 978-952-13-3875-5.

Asikainen, V. ja Peltola, S. (2008). Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Opetushallitus. ISBN 978-952-13-3851-9

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. (2016). [Viitattu 3.4.2017] Saatavilla: Asumisterveysohje. (2003). Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. 93 s. ISBN 952-00-1301-6.

Björkholtz, D. (1997). Lämpö ja kosteus: rakennusfysiikka. 2. painos. Rakennustieto. 150 s. ISBN 951-682-432-3.

D-L. Liu, W. W. Nazaroff. (2001). Modeling pollutant penetration across building envelopes. Atmospheric Environment, Volume 35, Issue 26. s. 4451–4462

Eduskunta. (Reijula K, Ahonen G, Alenius H, ym.) (2012). Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. 1. painos. Espoo. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. ISBN 978-951-53-3454-1 (nid.) ISBN 978-951-53-3455-8 (PDF)

Hakamäki, H. (2015). Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilmavuototii- vistyksen pysyvyyteen. Diplomityö. Aalto-yliopisto, rakenne- ja rakennustuotantotekniikan osasto. Espoo. 87 s. + 64 liitts.

Hongisto, L. Kaksoislaattapalkiston korjausmenetelmät sisäilman laadun parantamiseksi. Rakennusterveysasiantuntijakoulutuksen opinnäytetyö. Kuopio, Itä-Suomen yliopisto. 50 s.

Huttunen, I. ja Pentti, M. (1997). Julkisivukorjaushankkeen laadunvarmistus. TTKK. 30 s. + 39 s liitts.

Huttunen, K. et. al. Mikrobitoksiinien hengitystievaikutukset. Sisäilmastoseminaari 2017. Sisäilmayhdistys raportti 35. SIY Sisäilmatieto Oy. s. 375-378. ISBN 978-952-5236-45-3.

Hyvärinen, A., Vahteristo, M., Meklin, T., Jantunen, M., Nevalainen, A., Moschandreas, D. (2001) Temporal and spatial variations of fungal concentrations in indoor air. Aerosol. Sci. Technol. 35:688-695

Johansson, P. (2014) Determination for the critical moisture level for mould growth on building materials. Väitöskirja. Lund: Lunds Tekniska Högskola. ISBN 978-91-88722-52-2

Keinänen, H. (2009). Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakenne- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo. 86 s. + liitts.

Kero, P. (2011). Kosteus- ja homevauriokorjausprosessin arviointi kuntien kiinteistöissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 62 s.

- KH 90-00403. (2008). Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot, Rakennustietosäätiö. 32 s.
- Koskivuori, M. (2016). Liitosnauhojen käytettävyyys ikkunaliittymien tiivistyksessä. Opin-
näytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, insinööri (YAMK). 120 s. + 9 s. liitts.
- Lahdensivu, J. (2006). JUKO – Ohjeistuskansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi.
Korjaustapakuvaukset. Muuratut julkisivut korjaustavat- yleiskuvaus. Tampereen teknilli-
nen yliopisto, Rakennetekniikan laitos. 29 s.
- Laine, K. (2010). Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Diplomityö.
Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 122 s. + 32 liitts.
- Laine, K. (2014). Rakenteiden ilmatiiveyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. Rakennus-
terveysasiantuntijakoulutuksen opinnäytetyö. Kuopio, Itä-Suomen yliopisto. 117 s.
- Markkanen, P., Mielo, T., Lönnblad, P. (2015). Sisäilmaongelman tutkiminen - Ulkosei-
näeristeiden mikrobit ja niiden merkitys sisäilman laatuun. Teoksessa Säteri, J, Ahola, M.
(toim.) Sisäilmastoseminaari 2015. Sisäilmayhdistys raportti 33. SIY Sisäilmatieto Oy. s.
365-370. ISBN 978-952-5236-43-9.
- Meklin, T., Putus, T., Hyvärinen, A., Haverinen-Shaughnessy, U., Lignell, U., & Nevalai-
nen, A. (2007). Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot: opas ongelmien selvittämiseen.
Kansanterveyslaitoksen julkaisuja. C: 2/2008.
- Meklin, T., Rintala, H., Kärki, J-P., Markkanen, P., Pitkäranta, M., Raatikainen, M. (2015).
Eristevillamateriaalien mikrobipitoisuudet ja lajisto ulkoseinärakenteissa. Teoksessa Säteri,
J, Ahola, M. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2015. Sisäilmayhdistys raportti 33. SIY Sisäilma-
tieto Oy. s. 19-24. ISBN 978-952-5236-43-9.
- Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Vikström, K., Mäenpää, R., Saarenpää, J. & Tähti,
E. 1994. Kerrostalot 1960-1975. Helsinki: Rakennustietosäätiö ja Rakennustieto Oy. 288 s.
ISBN 951-682-279-7
- Neuvonen, P., & Hieta-Wilkman, S. (2015). Kerrostalot 1975-2000. Helsinki. Rakennustie-
tosäätiö RTS. 117 s. ISBN 978-951-682-883-4
- Nevander, L-E., Elmarsson, B. (1994). Fukthandbok, Praktik och teori. AB Svensk Bygg-
tjänt. 538 s. ISBN 91-7332-716-6
- Pakkala, T. A., Lemberg, A. M., Lahdensivu, J., & Pentti, M. Climate change effect on wind-
driven rain on facades. Nordic Concrete, 31.
- Pentti, M. et. al. 2013. Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. Helsinki: BY-Koulutus. Suo-
men Betoniyhdistys r.y. ISBN: 978-952-67169-8-5
- Pentti, M. ja Hyypöläinen, T. (1999). Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu.
Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka.
ISBN 952-15-0173-1

Pietarinen V.-M., Tähtinen K., Lappalainen S., Hyvärinen A., Holopainen R., Reijula K. (2015). Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella. Teoksessa Säteri, J, Ahola, M. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2015. Sisäilmayhdistys raportti 33. SIY Sisäilmatieto Oy. S. 19-24. ISBN 978-952-5236-43-9.

Pietarinen, V.-M., Altistumisen arviointi, Opetusmateriaali sisäilma-asioita opiskelevien ammattilaisten käyttöön Osa 9/9, Hometalkoot.fi. Haettu verkosta 9.2.2017 [www.hometalkoot.fi/file/15931.pptx]

Putus, T. (2016). Eristemateriaalien mikrobiologinen laatu. Ympäristö ja Terveys-lehti 5/2016. ISSN 0358-3333

Päkkilä, T. (2012). Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Diplomityö. Aalto-yliopisto, rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma. 148 s. + 62 liitts.

Rakentaja.fi. Tiilipintojen puhdistus ja huolto. [Viitattu 15.9.2017] Saatavilla: https://www.rakentaja.fi/artikkelit/2777/tiilipintojen_puhdistus_huolto.htm.

RATU-82-0239. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purkuohje.

Repo, J. (2015). Betonirakenteiden ilmatiivyyden hallinta sisäilmakorjauksissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 62 s. + 7 liitts.

RIL 85. (1972). Standardi. Muuratut rakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. SFS 2803.

RIL 107. (1976). Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto.

RIL 107. (1981). Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Helsinki.

RIL 107-2012. (2012). Rakenteiden veden- ja kosteuseristysohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL 2012. 219 s. ISBN 978-951-758-545-3.

RIL 117. (1979). Lämmön- ja kosteudeneristys. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Helsinki. ISBN 951-758-012-6

RIL 155. (1984). Lämmön- ja kosteuseristys. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Helsinki.

RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurion estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2011. 243 s. ISBN 978-951-758-537-8.

RIL-255-1-2014, Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. (2014) Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki 2014.

RT 086.40. (1976). Rakennuksien lämmöneristys, seinien k-arvot. Rakennustietosäätiö.

RT 14-11197. (2015). Rakenteiden ilmatiivyyden tarkastelu merkkiainekokein. Rakennustietosäätiö.

- RT 14-11239. (2016). Rakennuksen lämpökuvaus. Rakennustietosäätiö.
- RT 18-11245. (2016). Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet. Rakennustietosäätiö.
- RT 823.101. (1965). Seinätyyppejä, tiili-, asuinrakennusten. (1965). Rakennustietosäätiö.
- RT 823.12. (1947). Tiilimuuraus, mitoitus (tiili 27 x 13 x 7,5 cm). (1947). Rakennustietosäätiö.
- RT 823.162. (1965). Tiiliseinän liittyminen välipohjaan, yläpohjaan ja vesikattoon. (1965). Rakennustietosäätiö.
- Salonen H., Lappalainen S., Lindroos O., Harju R. and Reijula, K. (2007). Fungi and bacteria in mould-damaged and non-damaged office environments in a subarctic climate. *Atmos Environ* 41:6797–6807.
- Salonen, H. (2009). Indoor air contaminants in office buildings. Väitöskirja. Työterveyslaitos, Helsinki. Ympäristötutkimuksen laitos, Kuopion yliopisto, Helsinki. 222 s. ISBN 978-951-802-908-6
- Seuri M., Palomäki, E. (2000). Haasteellinen sisäilma. Riskianalyysi sisäilmakohteissa, Rakennustieto Oy
- SFS-EN 12599. Rakennusten ilmanvaihto. Ilmastointi- ja ilmastointijärjestelmien luovutukseen liittyvät testimenettelyt ja mittausmenetelmät
- Sievola, J. (2012). Haitta-aineiden kapselointimateriaalien jatkotutkimus ja kapseloinnin korjaustavat. Sisäilmastoseminaari 2012. Sisäilmayhdistys raportti 30. SIY Sisäilmatieto Oy. S. 19-24. s. 191-196. ISBN 978-952-5236-40-8
- Siikanen, U. (2014). Rakennusfysiikka: Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto. 256 s. ISBN 978-952-267-001-4.
- Sisäilmaohje. (1997). Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. ISBN 952-00-0261-8
- Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Asuinterveysasetuksen soveltamisohje. [Viitattu 5.10.2017] Saatavilla: <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>
- Sosiaali- ja terveysministeriö. (1996). Terveystietolain nojalla annetut sisäilmaa koskevat ohjeet. Mikrobiologiset olosuhteet.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus STM (545/2015) asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.
- Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2009:18. Kosteusvauriotyöryhmän muistio, Kosteusvauriot työpaikoilla. STM031:00/2008.

STM. 2003. Asumisterveysohje: asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö. STM:n oppaita 2003:1. 93 s. ISBN 952-00-1301-6.

STM. 2009. Asumisterveysopas: Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Pori: Ympäristö- ja terveys -lehti. 200 s. ISBN 978-952-9637-38-6. Sosiaali- ja terveysministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma B8 Tiilirakenteet. (1989). Helsinki: Ympäristöministeriö. 13 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma C2 Veden ja kosteudeneristys. 1976. Helsinki: Sisäasiainministeriö. 2 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 Lämmöneristys, määräykset. (1985). Helsinki: Ympäristöministeriö, Kaavoitus- ja rakennusosasto. 3 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 Lämmöneristys, ohjeet (1978). Helsinki: Sisäministeriö. 9 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 34 s.

Suomen Standardoimisliitto. BS 8800:fi. Ohje työterveys- ja turvallisuusjohtamisjärjestelmistä., SFS 1998

Suonketo, J. ja Annila, P. Koulurakennus.fi. 1960-luvun koulutalo – rakenteet ja niiden peruskorjaustarve. Tampereen teknillinen yliopisto (TTY), Rakennustekniikan laitos. [Viitattu 11.9.2017]. Saatavilla: <http://www.koulurakennus.fi/1960-luvun-koulu/rakenteet>

Suonketo, J. ja Annila, P. Koulurakennus.fi. 1970-luvun koulutalo – rakenteet ja niiden peruskorjaustarve. Tampereen teknillinen yliopisto (TTY), Rakennustekniikan laitos. [Viitattu 11.9.2017]. Saatavilla: <http://www.koulurakennus.fi/1970-luvun-koulu/rakenteet>

Terveysuojelulaki (763/1994)

Tuotevalmistajan tiedot. Tikkurila. Ohjeet. [haettu 6.7.2017] Saatavissa: https://www.tikkurila.fi/kotimaalarit/ohjeet/yleisimmat_haasteet/huomioitavaa_sisamaalauksessa/sisamaalien_vesihoyrynvastus

Työterveyslaitos. (2016). Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. 2. painos. Työterveyslaitos. Helsinki 2017. 76 s. ISBN 978-952-261-722-4 (PDF).

Tähtinen, K., Aalto, L., Pietarinen, V-M., Lappalainen, S., Holopainen, R., Palomäki, E., Kuokkanen, J. (2013). Arvorakennusten käytettävyys ja hyvät korjauskäytännöt (ARVO). Työterveyslaitos. Helsinki. ISBN 978-952-261-350-9

Työturvallisuuslaki (738/2003)

Ung-Lanki, S., Turunen, M., Pekkola, V., Hyvärinen, A. (2016). Ohjeistuksen kehittäminen koulujen sisäilmaongelmien hallintaan ja toimenpiteiden kiireellisyyden arviointiin. Teoksessa Säteri, J. ja Ahola, M. (toim.): Sisäilmastoseminaari 2016, 16.3.2016. Sisäilmayhdistys raportti 34. SIY Sisäilmatieto Oy. s. 215-218. ISBN 978-952-5236-44-6.

WHO. Dampness and mould. WHO Guidelines for Indoor Air Quality. WHO Regional office for Europe, Kööpenhamina 2009. 55 s

Vinha et al. (2013). Ilmanmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiakulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 159. 353 s. ISBN 978-952-15-2948-1

Vinha, J. Luentomateriaali Kuopion Rakennusterveysasiantuntijakoulutuksesta. 11.12.2009

Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A., & Käkelä, P. (2005). Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan osasto. Talonrakennustekniikan laboratorio. Tutkimusraportti; 129. ISBN 952-15-2745-6.

Ympäristöministeriö. (2016). (toim. Miia Pitkäranta). Ympäristöopas 2016, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. ISBN 978-952-11-4625-1

Liite 1

Kohteiden lähtötiedot									
	Rakentamiskuusi	Pinta-ala (brm2)	Kerrosluku	Tilavuus (m3)	IV	US-rakenteet + liit.	Tehdyt tutkimukset	US-tutkimukset	Korjaukset
A	1978, 2003 muutos, (2009 laajennusosa)	9 383	2 (0)	46 250	Koneellinen tulo ja poisto, LTO- järjestelmä	Vanha osa:	Työsuojelutark. 11/09 ja 5/10		
						Kolmikerrosrappaus		Sisäilmaolosuhteet 05/11	
						Poltettu tiilijulkisivutiili vuorivilla	IV-kuntotark. 06/11	AP/VP kosteus ja ilmativ. 6/11	Ap Ilmativ. 2011
						lehtitiili/TB	1 tila VOC ja kosteudet 3/13	Rappaus tarkastus 06/13	
							Sisäilma/kosteusrek. 06/13		
						AP: Ryömintätalilinen		IV-toiminta, paine-ero 06/13	
							Tulolima saukko (2h) 10/13	US koko rak. tiiv. 12/13	IV puhd. + säätö 2013
						VP: Tasakatto		US kuntotut, mikrobit 08/14	
						Bitumikermi		Vesikatto 09/14	
							VOC-mittaukset 11/14	Ap/sokkeli kuntotut. 10/14	
B	1964, peruskorjattu ja laajennettu 1983	6 320	2(1)	23 420	Koneellinen tulo ja poisto	Singeli	IV-Amittaus 1/15		
							Ap IV tarkastusmittaus 6/15		
							Radon 02/17		Julkisivun uusiminen 03/2017
						Tiiliverhoitu betoni	Vesikaton kuntotark. 6/08		
						Täydistä liseiniä	Salaaja/vienäri kuvaus 7/08	Sisäilma/kosteusrek. 8/08	
							2 huon. Työsuojelutark. 09 ja 10		Peruskorjaus 2010: Ap korjaus, salaojat, ikkunat, vesikatto
						Betoni runko			Kosteusvauriokorjaus, pintamateriaalien uusiminen 2011
									Peruskorjaus 2011: Tilamuutokset
							Radon 1/17		
C	1964, laajennusosat 1968, -81 (ja 2003)	8 321	2(0)	32 160	Koneellinen tulo ja poisto (peruskorjauk sen yht.) + LTO	Tiili			Kosteusvauriokorjaus 1995-1996
						Eriste			Salaojat ja pintavesijärjestelmä korjaus, AP IV 1998
						Tiili			Läpivientien ja liikutussaumien tiivistys 2000
							Ryömintätila tarkastus 3/01		Ryömintätilojen korjauksia 2001
						Betoni runko			IV-peruskorjaus: koneelliseksi 2004
								Sisäilma-tek. tutkimus 3/04	
						AP: Ryömintätalilinen		Sisäilma-tek. tutkimus 9/06	
							Olosuhteiden tark. 2/08	Hallintosiipi, sisäilmatutk. 11/09	Hallintosiiven pintaremontti ja US-rak. tiivistys 08-09
						VP: Harja, auma tai pulpettikatto		Lämpökuvaus 2/11	Ikunoiden kunnostus 2011. AP IV 2012
								AP ja Hallintosiipi PE 10/12	
D	1959	4 633	2(1)	18 098	Painovoimainen ilmanvaihto, koneellisesti perusrannuk sen yhteydessä	konesaumattu päti	1 huone kartioitus 8/12	Hallintosiipi, sisäilmatutk. 2/13	
								1 Huone rak. tek. tutkimus 1/15	
								US kuntotutkimus 6/15	
							HA tutkimus 8/16		
							Radon 4/17		
						Poltettu tiilijulkisivu			Salaoja/pintavesikorjaus ja ryömintätilan puhdistus + kuivatus
						muurattu sisäkuori	Katselmuksia x3 8&10/00	Tarkastus/yhteenvedo 8/02	
						Haifta-aine 1/09		Kuntotutkimus 2/09	
						AP: Ryömintätalilinen		Lämpökuvaus 1/10	
						Asbesti ja HA 9/10			
						Sis. ja pintapöly, näyte 11/10			
						Ympäristövalvontatarkastus 1/11			Perusparannus 2011-12: IV, ikkunat
						Työterveysvalvonta 9/16			
						konesaumattu päti			
						Radon 17			

	Rakentamistilavuus	Pinta-ala (brm2)	Kerrosaluku	Tilavuus (m3)	IV	US-rakenteet + liit.	Tehdyt tutkimukset	US-tutkimukset	Korjaukset
E	1966 ensimmäinen vaihe ja 1968 toinen vaihe	5 404	2(1)	21 599	Koneellinen poisto, osittain myös tulo. Peruskorjauksessa kokonaan koneellinen	Eristerappaus			Julkisivun osittaisia eristerappauksia 1995
						Betoni			Vesikate + pellitysten uusiminen 1997
						Kovavilla	K-lattian kost. vaurio 10/99		Ryömintätilan muottilautojen poisto ja koneellinen tuuletus 2000
						Betoni			Julkisivun osittaisia eristerappauksia 2002
									Salaoja osittainen korjaus 2002
							LVV kuntotutkimus 7/2005		Ikkunakorjaus alipaineen pinentämiseksi 2005
							Selvitys ali p. vähennys 7/05		
						Kahtili	Kosteuskartoitus kellar 10/05		
						Kovavilla	Kosteus + Mikroivaaur. 10/05		Peruskorjaus 2009: IV, Rau, salaoja
						Betoni		Kos.tek. riskikart. Hankes. 8/06	
		Rak. ja sis.i. kuntotutk. 8/15							
		US kuntotutkimus 9/15							
		IV selvitys PE ja CO2 2/16							
		Ilmännäyte 2/16							
		Ilmännäyte 2/16							
F	1978	6 786	1, os.2	28 550	Koneellinen tulo ja poisto	Poltettu tiili			Kattohuovat -95, US vuotokohia-96, ikkunat osittain -96, IV puhdistus
						Lämmönieriste		Sisäilman laatu ja tekijät 5/02	Ikkunat-02, IV puhdistettu/säädetty-03, luokka 22 AP/US tiiv. YP alip.
						Poltettu tiili		Vesikatto ja AP kosteus 4/03	
								Sisäilma katselmus 2/04	
						Lastulevy	Terveystaloksen tark. 3/04		
						HS-muovi	IV, ilmamäärät (4 tilaa)		
						Lämmönieriste	Pölyn laatu 4 tilaa 2/06	Kosteustek. tarkastus 1 tila 12/06	
						Tuulensuojalevy	Ympäristövalvonta 4/07		
						Rimat+vaakapaneeli	Sisäilma ja IV, 2 tilaa 5/07		
						Vienärivuoto tarkas. 12/07	Kost. + sis.i.tek. kuntotutkimus 3/08		
G	1978-1979, ja 1979	?	1, 1	?	Koneellinen tulo ja poisto	AP: Maanvastainen		US merkkilaine, PE	Sisäskuoren tiivistys 2009
							Haitta-aine 1/09		Merkkilaineut x 2. 788/09
						YP: Tasakatto,	Liikuntasali mikrobinäyte 10/09		
						bitumi kermikate	Liikuntasalin koteus 12/09		Liikuntasali lattia 2010. Vesikatto B ja C osa 2010. Julkisivu, ikkunat 2010
							Pölyn laatu x2 788/10	3 tilaa US mikrobi 12/10	
								Lämpökuvaus 1/11	
							Ap kosteus ja mikrobi 1 tila 3/11	Paine-ero 4 tilaa 2/11	
							Ap kostes, YP tutkimus 8/11		
							LVV kuntotutkimus 9/11	3 tilaa sisäilma/US mikrobi 11/11	Peruskorjaus, US purku
						Julkisivutiili	Käytävän hajuhaitta, lpk 7/00		
H	1978-1979, ja 1979	?	1, 1	?	Koneellinen tulo ja poisto	Mineraalivilla	ET hajuhaitta, esikoulu 8/00		IV nuohous 2007
						Kahtili	Kattion kosteusvaur., lpk 6/01		Vesikatto uusittu 2008
						Maalaus		Lattian kosteusvaur., pk 4/07	
							Rak. + sis.ilmaisto, lpk 10/09-7/10		
						AP: Maanvastainen	Tarkastus; kosteus, lpk 12/10		
							Sisäilman mikrobi, lpk 2/11	Sis.i. kuntotutkimus, lpk 10/13	
								Sis.i. korjaustarv.selv., lpk 3/14	
							Sis.i. korjaustarv.selv., pk 3/14		
						YP: Tasakatto	HA tutkimus lpk ja pk 3/14		
							LVV kuntotutkimus 3/14		
								Vesikaton bitumi uusi kerros n. 2000	
								IV puhdistus/säätö, perusteellinen polylisuus 2005	
H	1984	1148	1(0)	4170	Koneellinen tulo ja poisto (ajakohta epäselvä) + LTO	Kahtili			
						Mineraalivilla			
						Kahtili	Ympäristövalvontan tarkastus 2/06	Alustava kost.vaur. katselmus 3/07	
							Ympäristövalvontan tarkastus 1/07	Kosteus + sisäilma. kuntotutk. 5/07	
						AP: Maanvastainen		Kuntotutkimus 7/10	
								Sisäilma +mikrobi 6/14	
						YP: Tasakatto	LVIA- kuntotutkimus 06/14		
						Bitumi kermikate		Julkisivut/ikkunat 12/14	
								Lämpökuvaus 1/15	

	Rakentamisvuosi	Pinta-ala (brm2)	Kerrosaluku	Tilavuus (m3)	IV	US-rakenteet + liit.	Tehdyt tutkimukset	US-tutkimukset	Korjaukset
I	1980	1 102	2(1/2)	3 900	Koneellinen tulo ja poisto	Puna tiili		Kosteusvauriokartoitus 11/07	
						Mineraalivilja	Haitta-ainekartoitus 12/09	Kosteus ja raktek. kuntotutk. 12/09	Peruskorjaus: US paikkakorjaus. IV, salaoja, vesikatko uudistus 2011
						Kahti tiili			
						AP: Maanvastainen			
						YP: Tasakatto, bitumiermikaate + Singeli (poistettu)			
J	1981				Koneellinen tulo ja poisto	Tiili			IV nuohous ja säätö 2010
						Mineraalivilja			Vesikatko uusittu 2013
						Tiili/betoni		Tarkastus 1/14	Osa ikkunoista vaihdettu, paikkakorjauksia 2014
						Ympäristökeskus tarkastus 10/14			
						LVA-kuntotutkimus 10/15		Raktek ja sisäilmatutkimus 10/15	
K	1985	3 815	2(0)	19 100	Koneellinen tulo ja poisto	YP: Loiva bitumihuopa-katto			
						Tiili	Sisäilmakatselmus (1 huon.) 4/03		IV nuohottu, tuloliman äännevalvaimet vaihdettu (osittain?)
						Mineraalivilja	Sisäilmakatselmus 5/03	Kosteus ja mikrobivauriot 3/04	
						(tuuleutusrajo)	Tarkastuskäynti 10/04		
						Tiili/betoni	Jatkotutkimus 12/04		Peruskorjaus: Peltikate, räystäät, paikkaus, salaoja järjestelmä 2005
L	1966	4 692	1-2 (0-1)	18 983	Koneellinen poisto, tuloliman korvaus, ilmaventoileista, osittain koneellinen poisto ja tulo	Ositt. levyrakenteinen	Kosteus ja mikrobivauriot 12/05	Kosteus ja sisäilmakate. kuntot. 4/07	
						AP: Maanvastainen		Kuntotutkimus (4 huon.) 12/09	
						YP: Pulpettikatto, konesaumattu peltikate	IVA-kuntotutkimus 2/15	Vesivuotokohtainen tutk. 6/12	
							2 huoneen tutkimus 4/15	Selvitys suoritusta 5/15	
							Tarkastus 10/15	Rak. ja kosteus kuntotutk. 12/15	
M	1966	4 485	1-2 (1)	17 776	Päärakennus koneellinen poisto ja tuolimarelaatt. Osittain koneellinen tulo		Radon 1/17		
							LV-kuntotutkimus 2/17		
						Puhtaaksi muurattu tiili			Sadevesi/salaoja järjestelmä perusrakennus 99-01
						Mineraalivilja	Ryömintätilan toimintavertailu 02		
						Tiili	Kosteustarkastus 9/01	Vesivahtokatselmus 9/01	Puikkukunoiden uusiminen osittain 2003
						AP: Osittain maanvast. ja ryömintätilallinen	Sisäilmasto kuntotutkimus 5/02	Kosteustekninen kuntotutk. 12/03	
								Rak. + IV-tek. katselmus 4/09	Vesikatko ja YP. Ikkunoiden osittainen uusiminen 2009
						YP: täsa, harjakatto ja pulpettikatto		Kosteus ja sisäilmatutk. 5/10	
						konesaumattu rivi-pelti	Kosteus ja rak. tutkimukset 1/11	US rakennetutkimukset 1/11	
							Sisäilmamikrobit 3/12	Lämpökuvaus 1/11	
							Sisäilmamikrobit 3/14		
							IVA-kuntotutkimus 5/16	Kosteustek. kuntotutk. + HA 5/14	
							Radon 1/17		Peruskorjaus
						Kahti tiili			Ikkunat uusittu 2005
						Mineraalivilja		Sisäilma/kosteustek. tutkimus 7/06	Vesikatko: uudet pinta huovat ja räystäspellitukset v. 2004 ja v. 2006
						Tiili/betoni		Rak/kosteustek. tutkimus 9/06	Ryömintätilat puhdistettu + tuuletus vuosina 05-09, liittymä tiivistetty
						AP: Maanvastainen		Mikrobikuntotutkimus 3-10/06	Korvausilmaventtiilit tiivistetty ja uudet pelitukset (osittain) 06-07
						ja ryömintätilallinen	Tarkastus 12/06	Ilmanmäärät ja painesuhteet 5/07	
						Osittain	Asbesti ja HA 10/09	Betonipalkkien kuntotutk. 03/09	
						YP: Pulpetti/harjakatto	Tarkastus 1/10	US ja katto kuntotutkimus 04/09	
									Peruskorjaus: US uusiminen, AP liittymien tiivistys, koneellinen IV 2011
						bitumiermikaate	Tarkastus 8/10	AA-ilmatiivisyysmittaus 11/11	
							Radon 03/17		

	Rakentamivuosi	Pinta-ala (bmq2)	Kerrosluok.	Tilavuus (m3)	IV	US-rakenteet + liit.	Tehdyt tutkimukset	US-tutkimukset	Korjaukset
N	1987 (uusi osa 1998)	5 132	1-2(0)	25 312	Koneellinen tulo ja poisto	Vanha osa:		Kosteustek. kuntotutkimus 02/06	YP: Uusi puhallusvillakerros 2006
						Tiili	Leikkipuiston tarkastus 11/10		IV puhdistettu/nuohottu 2013-14
						Mineraalivilla			Vuotaneen vesikatton paikkaus 2014
						Tiili	Kohdekäynti ja tutustuminen 4/14	Edellisen jatkotutkimus 6/14	
							Ryömintätilat	Vesikatton vuotoalueet 8/14	
P		5 132	1-2(0)	25 312	Koneellinen tulo ja poisto	AP: Osittain	Katton korjaustarveselvitys 11/15	Sisäilma ja kosteustek.tutk. 2/15	Ryömintätilan tiivisyys, alipaineistaja, tuuletuksen parannus 2015
						ryömintätillallinen ja maanvastainen	Tarkastus 12/15		IV mittaus ja säätö. Rak. osittaisia puhdistustoimenpiteitä 2015
							IV-tekniinen kuntotutkimus 15-16		
						RAU toimintaselvitys 3/16			
						YP: Viisto konesaumattu peltikate	Ryömintätilla 7/16		
						Puhtaaksi muurattu tiili			IV puhdistettu 01/07
						Mineraalivilla	Kosteusvauriot ja sisäilma 01/08		IV säätö, siivouskoneen päälyste, siivous 06/08
						Betoni	Korjaustöiden katselmus 10/08	Rakenne ja sisäilma 11/08	
							sisäilmato-olosuhteet ja IV 12/08		
						Yksi seinä tuuletuva		Microbianalyysi 03/09	Ilmatäivien parannus 03/10
Q	1992 (laajennus 2002)	1 000	2(0)	3 930	Koneellinen tulo ja poisto	AP: Maanvastainen		US eristeiden mikrobit 08/09	
								AP/US ilmapuotoselvitys 03/10	-/-
						YP: Tasakatto,		AP/US ilmapuotoselvitys 03/10	-/-
						bitumikermikate			
						ja suojakiveys			
						Vanha osa:			
						Tiili	Salaajien kuntokartoitus 1/01		
						Mineraalivilla	Sisäilmaston laadun mittaus 11/09		IV nuohottu osittain 2009
						Teräsbetoni	Yhden siiven sisäilmatutk. 06/11		
							Laajennusosan sisäilmatutk. 12/11		
R	1964 (laajennus 2002)	9 279	2(0)	39 149	Koneellinen tulo ja poisto	AP: Osittain maanvast.	Ympäristövalvontia 11/13		
						ja os. ryömintätillallinen	Huoneen sisäilmaston mit. 06/14		
							LWA- kuntotutkimus 09/14	Rak. Tek. Tutkimukset, tiiveystark. ja salaaja + kuitatusjärj. 10/14	
						YP: Tasakatto			
						kumibitumikermikste			
						Puhtaaksi muurattu tiili		Ympäristökeskuksen tarkastus 4/05	Perus korjaus: Koneellinen tulo- IV, ikkunat, AP pintamateriaalit 2005
						Lämmöneriste		Kosteus ja rakututkimukset 04/11	
						Teräsbetoni/tiili		Itäsiiven sisäilmaselvitys 06/11	
						AP: Teräsbetoni laatta	Vesikatton korjausarvio 06/11		
						Ryömintätillallinen	Kosteus ja rak. tutkimukset 08/11		
R	1964	3 450	2(0)	12 530	Koneellinen poisto, koneellinen tulo 2005-2006		Olosuhteseurantamittaukset 04/12		
						(suunnitelma poik.)	IVA kuntotutkimus 03/14	Rak. tekniinen kuntotutkimus 04/14	
						YP: Harja ja pulpettikatto		Salaaja + sadevesij. kuntot. (10/14)	Salaaja järj., ulkoseinä ja ap liittymän tiivisyys
						peltikate			

	Rakentamisyvu	Pinta-ala (brm2)	Kerrosluku	Tilavuus (m3)	IV	US-rakenteet + liit.	Tehdyt tutkimukset	US-tutkimukset	Korjaukset
U	1971	5761	2(1)	24055	Koneellinen tulo ja poisto	KaHi tiili	Sisäilmaolosuhteet 08/06		IV uusittu -94/95
						(leukopalkki+ansas-t.)			IV puhdistettu 02/08
						Eriste(aseennus ilmar.)	Sis.i./kostek. katselmus 05/08		
						Kantava betonirunko	IV mittaus 06/08		
							1 luokan putkikotelo 09/08	IV ja kostek tutkimus 11/08	
							Wc-kostevaur. selvitys 08/09		
							Käivävesi seinät rak. 02/10		IV sääö 02/10
						AP: Maanvastainen, mutta maanpinnan onteloita laatan alla		Lämpökuvaukset 02/10	
							Ympäristövalvonta 05/10		WC peruskorjaus 05/10
							Pyyhkiänpöly 05/10		
						Asbesti/haitta-aine 08/10			
						yp: biuunikemmi	Sisäilma mikrobi 04/11	AP/US tutkimus 09/11	
								Julkari kuntotutkimus 05/13	
								Merkittävät 05/13	
									Peruskorjaus 2014?

Liite 2

Tutkimusraporttien analysointi											
Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobi	Ilmalyhteydet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimuslaajuus	Toimenpidesuosituks	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisällyman laatuun vaikuttavia tekijöitä
Sisällyman olosuhteet	Ei		-	-	Jatkuvatoiminen, 8 pistettä ympäri rakennusta, epätasapainossa, käytön aikana ylip. muuten alip.		Suppea	IV:n toiminta-aajan säätö		Pohjatedoksi IV kuntotutkimukselle	
	Yleisilmeeltään siisti, pintakosteuskartoitus latti: alhaiset, joltain polkkeuksi (yksittäisiä kohtia)		-	Merkkiaine: On (AP ja US)	Jatkuvatoiminen, 1 vrk ja 5 vrk. US: normaalissa käytössä merkkisavu rak. pän. Ap ja putkikaanali: alip. kun IV päällä.		Melko kattava	läpivientien ja AP-US liittymien tiivisyys	OK	IV tiedot edellisestä tutkuksesta	
	Kesällä 2011 tehty korjauksia sisällyman laadun parantamiseksi, mm. (jäsienmassa/silikoni) tiivistystä laattia ja seinä liittymissä, linoleumitaulujen vaihto, vanhaanpuolen alustan tulituksen toteuttaminen										
	Vanhassa osan US, rappausvaurioita säännöllisesti, koptaluaita, halkamia, kolmikerrosrappaus, räystään		-	-	-	Jatkuvatoiminen 7 vrk, 2 pistettä AP, 1US. AP: Alip. enimmäkseen, portaikko os. ylip. US: alip.		suppea	Julkisivun laajempi tutkimus	OK	Julkisivun aistinvarainen tark.
Ulkovaipan tarkastus			-	-	-			IV kunnostus, erillisspoistojen IV liitetään pää-IV-koneiden aikaa ohjelmoin, AP IV:n teho ulko RH:n perusteella	OK, muuta IV:tä voisi tutkia ennen kunnostusta laajemmin.	IV korjauksen pohjatedoksi	IV eristeillä ja alakatto akusto mahdollisia yhteyksiä sisällymaan. AP IV ei toiminassa. RAU:n säädöt todettu viimeisimmässä tutkimuksessa olevan väärin. IV kammiossa epäpuhtauksia, äänenvaimennus päädyt auki. AP läpiviennit epätiiviti
Paine-ero AP ja US			-	-	-		suppea	IV-häijestelmä puudistettu ja säädetty kesällä 2013			
US tiiveyden tarkastelu	Julkisivussa rapautumaa, vedenvälumajalkia yms. Puuteolliset vedenojaukset ikkuna, räystäs tms. US sisäpuoli: ikkunaliittymät epätiiviti, halkeilua			On, laajasti, merkkiainekoe eri ilmansuunnista	-		Melko kattava	US-kuntotutkimus, sokkeli/salaoja kuntotutkimus, AP tiiveys tarkastus, kattava sisäkuoren ilmatiiveyden korjaus	Miksi ei veden ohjauksesta otettu kantaa toimenpite suosituksi? Rajalla. Halutaanko tutkia lisää?	Paine-ero ei mitattu	
US mikrobi tutkimus	Rakennusvaurioista havaintoja, kosteusjälkiä Bitumikermin tarkastelu pistokoemaisesti singelin takia. Ei merkittäviä puutteita. Tuuletus käytännössä ainoastaan räystäiden kautta.		21, 9, 13	-	-		Melko kattava	Kiirrellisenä/välitkaisenä sisäkuoren tiivistys, korjaustapasuositus: US kokonaisvaltainen korjaus tuuletuvaksi	OK tiivistys. Purku pelkän mikrobien suhteen? Viitejakaua ei kuitenkaan hälyttävä	edellinen tutkimus lähtötilana, vähintäänkin paikallisia mikrobivaurioita	
Vesikatkon kuntotutkimus	Sokkelin vierustäytön valumista, routavaurio pihalluissa. Ontelotiloja syntynyt maanpainumisesta. AP kosteuskartoitus: ei kohonneita arvoja.			-	-		Suppea US kannalta	YP alipaine tuuletus, julkisivun korjauksen yhteydessä huomioitava vesikatko		Pistokoe luontoisesti. Räystäsraakenteiden vaikutus US=?	
AP/sokkeli kuntotutkimus			-	Merkkiainekoe, Ei ainakaan selviä	AP alip		Melko kattava	Jatkotutkimuksia, esim alip. AP IV toiminta.	Merkkiainekoe suoritettu väärin. Toimenpidesuosituks epäohjelmalliset, esim. AP/liittymät rakenteet ilmatiiveys epäselvä.	Merkkiainekoe suoritettu vähän harhaanjohtavasti, AP alipaineinen, ei kerro luotettavasti ilmayhteydet	
Kesällä 2017 julkisivun uusiminen peruskorjauksen yhteydessä											

A

Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobit	Imayhteydet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimuslaajuus	Toimenpidesuosituks	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisällmän laatuun vaikuttavia tekijöitä
B	Kosteus ja sisäilmatutkimus	Ryömintätiaassa rakennusjätettä. Sokkelissa vuotokohtia ryömintätilaan. Vuotojälkiä US/katto. Ikkunat monin paikoin huonokuntoiset ja niiden kautta vesivuotoa. Syöksytönten vedet asfaltille, kastelleet sokkeleita. Pihan kaadot kyseenalaiset. Sokkeliraudoituksia esillä	-	-	-	-	Suppea	Ryömintätilan siivous ja alipaineistus. Sokkelivuotokohtien paikkaus. Mikäli lisää vuotoja YP/US, korjaus. Ikkunoiden läpikäynti ja korjaus/uusininen. Salaojitus. Sadevesijärjestelmä uusiksi. Salaojituksen yhteydessä kaadot. Sokkeliteräksset, pinnointus.	Ok. AP ilmatiivisyys liittyviin rakenteisiin myös vaikka AP IV	Kouluun suunnitellaan peruskorjaus. Eri lisenä tutkimuksena vesikatom kunto ja salaojat ja viemärit. Maan painumista. Rakennuksen viereissä paljon kasvillisuutta.	Koteessa havaittu ajoittain vesikattovuotoja. Avoimia petiasuonoja ja maalipinta lohkelut. Räystäskourut ruostuneet ja lähellä US-rakenneta. Epätiivis lattialuukku. Yhden tilan pyyhintäpölynäytteessä mikrobita- ja arvon ylitys.
		Kosteusvausurion korjaus 2011 ja perusparannuskorjaus, jossa tilamuutoksia.									
		Peruskorjaus 2013: Ap korjaustyöst, salaojat uusittu, ikkunoiden vaihto, vesikaton korjaus/uusininen, pihaluueen korjaus salaojien yhteydessä.									

Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartotus	US Mikrobi	Imayhteydet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusala	Toimenpidesuositukset	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä
	Peruskorjaus 1980. Kosteusvauriokorjaus 1995-1996. Salaojat ja pintavesijärjestelmä korjaus. AP IV 1998. Läpivientien ja liikutasaumien tiivistys 2000. Ryömintätilojen korjauksia 2001										
	Sisäilmasto ja kosteustekninen kuntotutkimus	-	-	Merkkiainekoe: Ilmavuotoja esiintyi eniten 3 tilassa AP/seinä, läpiviennit, alip ja ryömintätila liikuntasaua ylip	Paine-ero: Sisäilma-ulkolma: -15...0 Pa alip ja ryömintätila ylip	-	Suppea	Ryömintätilan ja huoneiden välinen tiivistys. IV selvitys, ryömintätila alipainaiseksi. Korjauksen tarkastus merkkiaineella ja jatkuvatoimisella PE-mittauksella	OK. Mutta hyvä huomioida US rakenteen muut liittymät siellä epäpuhtauksilla luultavasti ilmayhteys US eristestilaan ryömintätilasta.		
	IV peruskorjaus: koneellinen tulo ja poistoinninvaihto 2004										
	Sisäilmselvitys	AP/seinä tiivistys silmämääräisesti asiallinen	-	-	Paine-ero 2 tilaa: 1...4 Pa ylip ja 1 tila 9...10 Pa ylip	Kuidut ok	Suppea	IV toiminnan tarkastus. Sisäilman mikrobimittaus tarvittaessa		Työterveys tarkastuksessa pyyhintäpölynäytteessä homeitiöitä. IV-kanavissa rakennuskaista pölyä. Ongelmia/virheitä IV:n toiminnassa. Ilmamäärät eroavat. AP siisti ja alip.	
	Hallintosiiven pintaremontti (lattiat mm. uusittu), US rakenteen tiivistyksiä tavella 2008-09										
	Hallintosiiven rakennel ja sisäilmatutkimus		3, 1	Merkkiaine: Ilmavuotoja lattiat/seinä, ikkuna/seinä.	-	VOC: pienet päästöt	Suppea	US-rakenteen sisäkuoren tiivistys. Ilmavuotojen tiivistys. Hallintosiiven osalta	OK		Paikallista homeen hajua. Hallintosiivestä mitattu kohonnutta VOC-päästöjä sekä sisäilman mikrobeja, puulattian rakenneavauksesta materiaalinäyte eristeestä ->vilte varioista. US yhdessä tilassa pintakosteudet koholla. IV:n korjauksissa lujalevyssä tutkimuksessa: lujalevyssä asbestia ja ikkunalaudan maalissa raskasmetalleja.
	Lämpökuvaus	-	-	Lämpökuvaus ikkunarakenteet ja ovet lämpövuotoja	Hetkellinen: -2...0 Pa	-	Suppea	-			
	Hallintosiiven ikkunoiden vaihto 2011. AP IV uusittu 2012										
	AP ja Hallintosiiven välinen PE ja merkkiainekoe	-	-	Merkkiainekoe: AP sisäilma ei ilmavuotoja	AP alip. Ilmavirta huone->AP	-	Suppea	IV säästö: PE lähellä 0 Pa. Tiivistykset ilmavuotokohtiin.	OK		
	Hallintosiiven sisäilmatutkimus	-	-	Merkkiaine: Ikkunatiivistet, ikkunapalkki, lattiat/seinä	Pölynäytteissä PE 7 vuorok. -10...-2 Pa ulkolämpötila	-	Suppea				
	1 Huone rakennetekniset tutkimukset		8, 1	Merkkiaine: US ja liittymät epätiivittävät (merkkiaine sisäilmaan valkua ylip.?)				Ulkovaipan epätiivieskohtien tiivistämien huoneen osalta. Suositellaan samaa muille huoneille mikäli ei todeta kunnossapitoväksiksi?	OK periaatteessa, mutta tiiveys todettu virheellisellä tavalla.	Mikrobi tutkimuksessa vaurioitettua pohjoissikkunan yläpuolella, luultavasti leukapalkin kylmätila ja eteläpuolen ikkunan alla, josta ilmayhteys. Merkkiaine tutkimus suoritettu ylipaineessa!	
	US kuntotutkimus		25, 16	Merkkiaine ja lämpökuvaus: US runsaasti saunauksia irronnit.	Paine-ero 5 vuorok. ja 4 mittapistettä: -10...-5 Pa. Hetkellisesti myös ylip ja korkeat alip.	-	Melko kattava	Alkaiempien tutkimusten perusteella havainnot, että julkisivun kunnossa puutteita, lisäksi mikrobivirheitä ympäri julkisivua, joten OK. Myös energiatehokkuuden kannalta OK.	Julkisivua havainnointu ajennassa tutkimuksessa (kaksi tutkimusta puuttuu tutki musaineistosta). Tiiliä halkeillut, saumat rapautuneet monin paikoin. Lisäksi hyvin ohut villa, 50 mm.		
	Julkisivujen korjaus 2017										

C

Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobit	Ilmavirteet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusalaajuus	Toimenpidesuosituks	Johtopäätös	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisällyksen laatuun vaikuttavia tekijöitä
Salaoja/pintavesikorjaus ja ryömintätien puhdistus + Kuvitus											
D	Ryömintätien tarkastus ja yhteenveto mikrobiutkimuksista	Läpivientien tiivistämistä. Ikkunapellitusten kallistukset puutteelliset.	-	-	-	Yhdessä luokassa poikkeavat mikrobit pyyhintäpölyssä, jotka peräisin seinästä tai vanhoja epäp.	Suppea	Läpivientien tiivistys. Korvausilma-aukkojen avaus/siivous. US ja ikkunarakenteiden kunnon jatkotutkimus. Yläpölyjen siivous.	OK, mutta huomio myös US/AP ilmatilavuus, ei pelkästään läpiviennit	Ryömintätien puhdistus tehty -98 vain osittain. Luokkaneen alle tehty virheellisesti varasto. Ryömintätien läpivientien tiivistämistä ja painesuhteet sisällykseen päin	
	Julkisivu: tiilen lohkeilu, saumojen rapaamaa, läpiviennit osittain ei paikattu, paikallisesti kosteutta. Ikkunat huonokuntoiset, pellitysten kiinnitykset ja kaadot huonot. Rakenneteksteusmittaus: 1 kohta US korkea kosteus.		1, 0, 10					Kosteusvaurioituneiden osien korjaus. Ryömintätien poisto-IV:n lisääminen. US julkisivun purku (jos halutaan varmasti kutoon) tai rapautuneiden osien vaihto, läpiviennit tiivistetään. Ikkunoiden uusiminen. Sokkeleihin veden poisto putket + halkeilun paikkaus.		Peruskorjauksen 90-luvulla. Ryömintätien IV puutteellisen. Vessikatolla maaliohjeilua ja läpivientisaumat osittain puutteelliset. Alakatossa halte-levyissä kosteusjälkiä. Akreditoidun mikrobiolosuhteiden	Maakellarin hajua osassa tiloissa. Tarkastusluokasta puuttuu tiivistys ja painesuhteet sisällykseen päin. HA: Ikkuna ja julkisivu metalliosissa viivä. IV koettu puutteelliseksi ennen peruskorjausta. Peruskorjauksen jälkeen osan tilan IV koetaan puutteelliseksi.
	Kuntotutkimus peruskorjauksen hankesuunnitteen varten	Ohuthe ja karbonatisoituminen (sokkeleihin)	-	-	Paine-ero: -13...0 Pa, ryömintätien ylip. Sisällykseen nähden	VOC: kohonneita pitoisuuksia	Meiko kattava		Mikrobiotutkimus ei täysin luotettava. Lisäksi toimenpidesuosituksissa vähän ympäristöä toteutus "varmasti kutoon".		
	Lämpökuvaus		-	-	Paine-ero keskimäärin: -8...-7 Pa		Suppea				
Suunnitelmissa 2011-12: IV kokonaisvaltaisen uudistus koreelliseksi tulo/poistoksi. Ikkunat uusittu. Vessikat korjauksia. Julkisivun vaurioituneiden osien korjaus (os. purku) ja läpivientien tiivistys. Tilajalta tieto 2017 peruskorjaus: julkisivun purku ja muutokset tuuletukseen: ikkunoiden vaihto, tiivistykset.											

[illegible]

Sisällin laatu ja tekijät 5/02	Aulassa mikro biperäist ä halu.	1. kunnostetta vasta ikkunakarmi sta näyie vil ttaa	Merkkiaine: 4 kyllön alkan 2...6Pa Vilp. Muuten -3...-2Pa US alaaas liittymät alip	Melko kattava	Sisällinmastokysely y. IV: suodatus/tiiveys kuntoon, puhdistus, tasapainotus. Rakentaiden tiivistäminen: US/lattia, sisäsuuren liittymät. Sisällin laadun seuranta.	OK	Yksi tila pyyhintäpölyssä mikrobipitoisuuksia. Ikkunoiden uusininen käynnissä.
Vesikatko vuodot ja AP- rakenteen kosteusongelma	Tasakatko, lammitkottumista. Listoluukun ja tiilimuurauksen välinen elastinen saunaua puuttuu osasta ja ikkunolta kokonaan mahd ol llaisten sadeveden pääsyn seinän lämmön eristeerokseen.	-	2 krs. Alip. mutta vilp. jos ovi/ikkuna auki. 1. krs vilp. ja alip.	Suppea	Mikali kattovuodot jatkuu niin yv elämen tin saumojen tiivistys. PE jatkotutkimus ja IV korjauksia. Vesikatkon korjaus lammitkolluella. Ap luukujen tiiv styv. Jukisvun elastisen saumujen tarkastus	OK	Kattovuodot luultavasti vilpaineesta ja katon heikosta ilmatiliveydestä johtuvaa.
Sisällinmakseilu	Pintakosteuskartoituksessa US ja US huonekokoilla. Sokeita ja AP välissä erotuskaistana kuitulevy, kostunut	-	Merkkisavulla pinesuhteet OK	Suppea	Kosteusvaurioituneen ulkoseinän korjaus	OK	Ilmamäärät osittain väärät
Sisällin ja kosteustekninen tarkastus yhdessä tilassa	US pääosin kuiva, yksittäisten ikkunoiden ympärillä kohonnetta anvoja. US/ikkunakarmi tiivistetty elastisella saumalla, vanhentunut. Jukisvukittaukset vanhentuneita. Sisäkuori vain osittain maadattu, muraaleja osalla heikompi ilmatilveys. Vesikatkoja lammitkottumista	-	-	Suppea	Lattijapintoitteen vaihdon yhteydessä erotuskaistan päällinen tiivistys	OK	
Kosteus ja sisällin tekninen kunnostaminen	US rakenteen merkkiaine tulitus ja paine - ero	-	Ylipaine käytön aikana ja alipaine muutten	Melko kattava	IV uusiutuminen ja säätö. US vanhojen kittausten uusiminen. Sisäsuuren muuratu osan tiivistäminen tasoitamalla. Ikkunaliittymien + seinä/US tiivistys. Ikkuna apukamien tarkastus. Vesikatkon peruskorjaus.	OK	IV huonokuntoinen. US kevyrakenteessa myös ilmavuotoja
3 tilan US mikrobianalyysi	2, 1, 6	-	Lievästi ylipaineinen (tule epäily virheelliseksi)	Suppea	Sisäsuuren tiivistys. Kattava paine-erottuminen	OK	Hygieniatilojen poisto pois katon ukopuolelta, aiheuttaa alipainetta
Lämpökuvaus	-	-	Lämpökuvaus: Ikkunat, rakenteet ja ovet alentuneet pintalämpötilat	Suppea	-	-	-
4 tila paine-ero mittaukset	-	-	Vaihtelu kyllön alkan noin -5...-4s Pa, muutten/viikonloppuis in -10...-4Pa alipaine	Suppea	Sisäsuuren tiivistys peruskorjauksen yhteydessä	-	-
3 tilan US sisällin tekniset tutkimukset	4, 1, 3	-	Merkkiaine: Ilmavuotoja ikkunarakenteen liitos, US/lattia, Ikkunakarmi	Melko kattava	Sisäsuuren systemaattinen tiivistys, liitosrakenteet tiivistys ja muuratu sisäsuuren sively tai rappaus. IV tasapainotus. Kosteusvaurioituneiden alkattojen/akustolevien vaihto	OK	-

Kohde	Tutkimus	Alstinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobit	Imeytytydet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusajajaus	Toimenpidesuosituks	Johtopäätös	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä
Keittö IV uusittu (LPK), IV huuhous 2007											
	Liikuntasalin lattian kosteusvaurio, peruskoulu	Räystästä ei myrskypeltä. Eteälä puolen ikkunat huonokuntoiset. Julkisivumuurausten saumat osin rapautuneet. Ikkunoiden alapuolella palikien lämmöneristeet mahdollisesti kastuneet	-	-	-	-	Suppea	Myskypellit. Eteälä puolen ikkunat uusia, tarkistetaan apukarmin kunto, uudet tiivit ikkunapellit. Liikuntasalin yläosan muurausmausten kunnostus.	OK	Toinen toimija tehnyt kosteusvaurioarvioituksen alkaen: sadevesi tulut US ja ikkunarakenteen läpi ja lattia kastunut. Ikkunan alaosan kotelorakenteessa asbestia.	
Vesikato uusittu 2008											
G	Sisäilmatekninen kuntotutkimus, LPK	US alin tiilivi joka 4. sauma auki. Ekkerin ja tiiliseinän välillä rako. Ikkunat, karnit ja US- liitokset epätyydyttävät. Paljon kasvillisuutta julkisivu edessä/kiinni. US/yp liittymässä tummentumaa, ilmavuotoja. Räystäsyönnöstö matalat. Ekkerin katolta sadevedet hallitsemattomasti.	10, 0, 2	Merkkiä: AP/seinät, läpiviennit, levyriente /tiilirak enne ilmavuotoja, alip.	Paine-ero: 4 vuorokautta, 3 tilaa: 0...5 Pa ylip. käyttöaikoja. Yö ja viikonloppu: -7...-4 Pa			Epätyydyttävien kokonaisvaltaisten tiivistys + laadunvalvonta. Lahonneiden ikkunoiden ja muiden puuosien vaihto. Erkkereiden räystäät isommaksi ja syöksytörvet. IV säädöt kuntoon.	OK	Tulolima ei riittävä. Kattokäivä tukossa.	LPKsaaisittu homeenjauha/tunkaisuutta. Keittö IV käsäätöinen, laitetan liian aikaisin pois päältä. AP- kohoneita kosteutek. Runsaasti yläpölyä. Pinnollattomia mineraalivilla lähteitä IV äänieristys.
	Sisäilmasto- ja kosteustekninen korjaustarvelu, LPK	AP/seinäliittymässä, läpiviennissä ja US- rakenteissa rakoja. Ikkunat huonokuntoiset, eivätkä lämmöneristävyydeltään määräjsten mukainen.	-	Merkkiä: AP/seinä, ikkunapenkin alasa	-		Melko kattava	AP rakennelittymie tiivistys. US halkeamien ja saumausten korjaus. US tiivistysten yhteydessä sisäpintojen tasoitus (ilmaivetyden paramus). Ikkunoiden uusien ja liittösten tiivistäminen.	OK	Kevyt US rakenne sisältää asbestia.	
	Sisäilmasto- ja kosteustekninen korjaustarvelu, PK	Sokkelitasoon jätetty rakentamisaikaista jätettä -> mikrohiuhja. Sokkelihalkaisuun jätetty kovalevyä, kostunut. Lämpökuvauksilla havaittiin kylmiä kohtia pienen alaosissa, ikkunoiden liittymissä. Pihalla runsaasti kasvillisuutta.	3, 0, 2	Merkkiä: AP läpiviennit, US liittymät, US raot	-		Melko kattava	Epätyydyttävien tiivistys. US sisäpuolinen tasoitus ja tiivistys tai sokkelin kovalevyn poisto (hankalaa mikaili laajalti). US kiinni olevan kasvillisuuden poisto. Pihallistukset kuntoon.	OK	Rakennus ollut käyttämättömänä useamman vuoden	

Tutkimus	Alustinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobi	Ilmavytykset	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimuslaajuus	Toimenpidesuositukset	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisällmän laatuun vaikuttavia tekijöitä
IV säädetty ja puhdistettu 2005, tehty myös perusteellisempi silvius										
Ympäristövalvonnan tarkatus	Yhdessä tilassa mikroöperaristä hajua, Ysirtäisä kohti seinän alaoassa kohonneet pintakosteuksia	-	-	-	-	Suppea	Mikroöliähteen syn selvittäminen	OK	Katkokkunoiden kohdalla vuotojälkiä	
Alustava kosteusteekinen kuntuutkimus	Ulkoseinässä halkeamia. Mikroöperaristä hajua.	-	-	-	-	Suppea	Ilmavuoöen laajuuden määrittely. Mikroöperarisen hajun selvitys. Tiiveys ja painesuhteet. Kosteusteekisen tutkimuksen suoritus	OK		
Kosteus ja sisällmateekinen kuntuutkimus	AP/seinäliittymä rakolee kauttaataan. US/kkunaliittymässä ja rajapinnassa halkeliua. Ikkunat tiivistetty osittain ulkopuolella. Ikkunapellityksessä ja pellitusten ylösnostossa rakoja. Räystäpellit kysenäiset	-	Merkkiainen: AP/seinä, läpiviniit, halkeamat ja roöt ilmavuoöja	Paine-ero: 1...3 Pa	-	Melko kattava	Lattiajana tiivistys. Ikkunaliitoksen tiivistys. Meren puoleisen räysärakenteen uusiminen	OK	Merén puoleisesta katoikkunasta vuotanut, vuotojäljet näkyvissä. IV: tuloliman ohivuotoja, mineraalivilaa reikäpelti väimentinessä.	Sisällmän mikroömitauksissa konoönieta pötsuuksia. Halliteö levssä kosteus/vuotojälkiä. IV: järjestelmä välttävssä/huonossa kunnossa, suodatimisessa ohivirtausta, epäpuhtausätetä, kokonaisilmamäärät pökkeavat suunnitellusta, alipainetta.
Kuntuutkimus	Lattian ja seinän tiivistykset tehty huonosti. Räystäspellit tuuketuneet roöista	-	-	-	-	Suppea	Lattia/US liittymän uudeelleen tiivistys. Räysäspeltien puhdistus. IV:n huoltotoimenpiteitä/ausimi nen	Ok. Mistä IV toimenpidesuositukset?		
Sisällmä tutkumukset	Jalkalistan tiivistykset tehty huonosti/eli tehty ollenkaan. Enstetian ilmavuoöja sisällmaan.	5, 6	Merkkiaine: Jalkalista, Ikkunakamit, seinien halkeamat ilmavuoöja	Epätas apainossa. Vanha osa paikallisesti korkea allip.	-	Melko kattava	US enstetian uusiminen pökkeavien nävrtiden kohdalla nittävä laajalti. US ilmavuoöjen tiivistäminen. US rakennövaaukset sisäpuolelta, sokkeli lattia liittymän tarkastus	Tiivistystoimenpidet OK! US enstetian uusiminen? Mikä rakenteellinen kunto? Miksi ei IV toimenpidetä?		
Julkisivurakenteiden ja ikkunoiden kuntuutkimus	Sokkelin vieressä hiekkaa, kallistus rakenteeseen pain. Pensaita julkisivun lähellä. Tiilijulkisivu yleisesti hyvässä kunnossa, halkeilua nurkat ja ikkunoiden läheisyydessä	Kyllä, mutta kevyestä seinärakentöestä	-	-	-	Suppea	Sokkelin vierustan hiekan poisto + pötolevyjen asennus, pihan kaltevuudet kuntoon. Jukisivun läellä olevien pensaiden poisto. US 1: tiivistetään, puretaan kattoikkunoiden ja salin kevyet seinärakenteet sisäkautta, esisteen vaihto, tiilimuurauksen alimman öivän tuuletusreijät aukit, IV säätö. US 2: US purku (eniste + muraus/levyyvörouh) ja tuuletetuksiksi, uusiaaan ikkunat, ikkunapellit ja räystät	OK! US toimenpiteet? Suppealla tutkimuksella vöökä!!	Pörustusten mukaan tuuletusrako 10 mm, laastipurseita ja niin ohut että ei toimi tuuletuvana rakenteena. Kattoikkunan katoikkunarakennetta katoikkunarakennetta uisittu peltien ylösnostojen narakennetta uisittävissä	

Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobit	Ilmalyhteudet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimuslaajuus	Toimenpidesuosukset	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sijainnan laatuun vaikuttavia tekijöitä
I	Kosteusvauriokuvaus	US: maanvastaisessa seinässä kohonneita pintakosteuksia.	-	-	-	-	Suppea	Salaajien kunnostus, IV puhdistus + säätö ja toimivuuden ja riittävyyden tarkastus		Salaaja osittain tukossa, maanvastaisen seinän kohdalla ->kosteusrasitus AP	
		Koillisivulla maa osittain VP korkeamalla. Pihan kallistukset osittain rakennusta päin. Köynnös kasvi US, vesikatto, räystäspellin alla. Julkisivu hyväkuntoinen, yksittäisiä pakkasrapautumia. Villa kiinni tiilissä, ei alarivin tuuletusaukkoja.	1, 1					VP:n yläpuolella olevan maan poisto. Peruskorjauksessa maanpinnan kallistukset, koillisivun maanvastaisen seinän eristevillan purku ja seinän uusiminen. Köynnös kasvin poisto. Sisäverhouksaumoje n ja halkeamien tiivistys. Ikkunoiden kunnostus ja liittymien tiivistys.		Ilmalyhteys mikrobi kasvuvuitteesta todettu. Koneausilmaa US-rakenteen läpi ilmavuotojen takia	Pölyä. Osa väliseinistä saattaa päästää kosteutta AP betonilaattaan. IV:n toiminta epäilyttää (2007)
	Kosteus ja rakennetekninen kuntotutkimus peruskorjaushanketta varten	Sisäverhouksissa pilarin välissä halkeamia, vaakasumoissa halkeamia. US-rak kuivauskyky tydyttävä. Koillisivun maanvastainen villa kostunut. Ikkuna/US liittosauma huono kuntoinen.		Merkki savu: voimakkaita ilmavirtauksia sisäkuoren epätitevyys kohdissa.	-	-	Melko kattava		OK		
Peruskorjaus 2011: US-ikkunoiden yläpuolisten tiilien vaihto. Julkisivun tuuletuksen parantaminen? Maanvastaisen seinän villan purku ja uudistus. Salaaja, VP, IV uusiminen IV nuohous ja säätö 2010 Vesikatto uusittu 2013											
J		Maanpinta liian korkea rakennuksen ympärillä: sokkelin yläpinta paikoin maanpinnan alapuolella, US tuuletuspukit osa maanpinnan alapuolella. Sokkeliterästen korroosiota, karbonatisoitumista. Ikkunalyhtymämaudat liian ohuet, alin tiilirivi ikkunoiden päällä roikkuu, saumat irt. Julkisivussa avonaisia tiilisaumoja, rikkinäisiä tiiliä.						Maanpinnan madallaminen, kaadot kuntoon. US kuivatus. Sokkeleiden tukkiminen + korjaus. Saumojen puhdistus + uudelleen saumaus. Rikkinäisten tiilien vaihto.			IV tulolmaventtiilit pölyisiä, IV puutteellien CO2 liian korkea. IV tutkimuksesta: IV välittävässä kunnossa, epäpuhtauksia, alhainen tuolima, lämmäkeat vaihtelevat, painesuihteet virheelliset, korkea alipaine ja vilpaine. Alasias kettujen kattojen päällä pölyä + villalähteitä, tulolmassa kuituja.
	Ulkopuolien aistinvarainen tarkastus		-	-	-	-	Suppea		OK		
				Osa ikkunoista vaihdettu, pakittakorjauksia (edellisen raportin toimenpidesuosituksia) 2014							
		Maanpinnan tasoa korjattu, edelleen liian korkea. Pystyhalkeamia ikkunapeltien läheisyydessä. US sisäpuolella halkeamia pilarin ja US liittymässä.	2, 4	Merkkiaine: Runsaasti ilmavuotoja 1. krs. Latvia/seinä, pilari/seinä	Paine-ero 10 vuorokautta, 4 tilaa: - 15...5 Pa, alip. piikki klo. 18 ja 6			Maanpinnan madallaminen + kallistukset. Ilmavuotokohtien tiivistys. 1. krs. sisäkuoren tiivistys. Ulkokuoren halkeamien tiivistys. US korjaaminen tuulettuvaksi seuraavan peruskorjauksen yhteydessä, liikuntasuomen lisäksi.		Korjauksia pielessä. Ilmarako/muurausten aikainen työrajo 20 mm, täynnä laastipursetta. Arvio uudestaan peruskorjauksen ikkunan yläpuolisia tiiliriviä korjattu.	

Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobi	Yhteydet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusala	Toimenpidesuosukset	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisällän laatuun vaikuttavia tekijöitä
K	Kosteus ja mikrobaivauriot kuntotutkimus	US: halkeilua runsaasti sisä ja ulkoosassa, jotta pakkasrapautumista. US/hatto liitos vesivuotoja. Valesokkelin eristeet maanalle asti. Ei toimivaa sadevesipöytäjärjestelmää, vedet sokkeleille. Ikkunaliitokset epätyydyttävät.	US: Kyllä, mutta ei selvää osotusta rakentetyypistä	Aistinvaraisesti halkeamia/rakojia	-	-	Meiko kattava	US liitosten tiivistys ja halkeamien korjaus. Ikkunaliitosten tiivistys. Säläjoja ja sadevesijärjestelmän jatkotutkimus. Vesikatkon jatkotutkimus.	OK, mutta tässä vaiheisiin jo suositella esim silmäntarkastusta sadevesien ohjaus pois sokkeleilta.	Tehty tutkimuksia alkaisemmin, mutta näistä puuttuu tieto. Mikrobikokeissa vaurioituneet löytyvät valesokkeleista ja silmäntarkastusta vaurioituneista vaurioituneista.	
	Peruskorjaus: Riviapilite uusia, riviapilite uusia.	Betoniliittia painunut, US/attia liitoksessa rako. US tuuletusrako 0-15 mm. Ikkuna/US liitoksissa rakoja. Jalkisui OK, vähän kalkkikertymä.	-	-	Tuloilman mittaus, poistolinjat liian pienet, ylipaineinen. Yöllä alip. (IV pois päältä)	-	Meiko kattava	Seinä/attia, Ap läpiviennit ja ilmapuotokohden tiivistys. Homepölysyys. IV säädöt kunnan (pääle myös yöllä)	OK	Rakennus osittain tili-villa-tili, osittain levyrakenteinen US	
	Kosteus ja sisäilmatekninen kuntotutkimus	Sisäkuoressa yleisesti ilmapuotokohia.	-	-	-	-	-	Ikkuu pelittysten korjaus. Tiliuikkusivun korjaus/uisminen tai peittävä korjaus. Ikkunoiden uisminen.	US korjaus/uisminen? Suppea tutkimus. Ikkunoiden uisminen? Kunnostus ja tiivistys ehkä		Suojaattomia mineraalivillalähteitä, akustolevyt, tehty korjaustoimenpiteitä, mutta kuituja edelleen ilmassa. 1 huoneen sisäilmamikrobiliittienä kasvuun. AP:n alle syntynyt onkalolaita, maa painunut, onkalolaita voimakas ilmavirtaus putkikaanaliin, luultavasti myös sisäilmaan (ylipaineinen AP). Tuloilma suurempi kuin suun, ja poisto pienempi. Tuloilmassa kuituja. IV suodatitimet liikkeet, kuitulähteitä.
	Vesivuotokohtainen tutkimukset (2 tilaa)	Vedet menivät US-rakenteen sisään katoilta. Jalkisuvassa kalkkiharmetta.	3, 3	-	-	-	Suppea	Vaurioalueiden purku (kotelorakennel), maalipinnan poisto ja kuituväin. Jalkisuvun kattava kuntotutkimus.	OK		
	US: suoritettujen tutkimusten mukaan puutteet/vauriot merkittävät runsaasti haaleilua sisä/ulkoosassa, tiiveyspuutteita, pakkasrapautumaa. US tiivistys/työsiä suoritettu alhaisemman tutkimuksen perusteella, edelleen vaurioita/ongelma ei korjautunut. US alaosat/sokkeli: korjattu osittain? (patolevy).	Sydänsyönä ongelmia korjausten jälkeen	-	-	-	-	Suppea	US tarhampi tutkimus vaurioiden syyn selvittämiseksi. Sokkeli patolevien tarkastus. Saloja/sadevesijärjestelmän puhdistus. Ikkunoiden kunto US-tutkimuksen yhteydessä. Vesikourujen/sydänsyönien kunnostus. Ei suositella korjauksia ennen kattavaa tutkimusta.	OK	Korjauksia tehty todennäköisesti ilman suunnittelua.	
	Seuravuosittain rakennusteknisistä korjauksista	Sokkelissa pintavaurioita. Patolevy OK, mutta osassa liian syvällä maanpinnasta. US: osittain riviapilite, sisäpuolella tiilikuoressa haaleilua, ilmarako osittain tukittu muurustusta, leikkipäkin päälle jää sadevetä. Vesikatko/US liitos epätyydyttävä. Riviapilite/sydänsyönien epätyydyttävät. Ikkunoiden elinkaari lopussa, liitokset epätyydyttävät.	17, 3	Merkittävät: Ikkuna/US ja attia/US systeemaattisia vuotoja. Paine-ero ylip. Kuitenkin vuotoja sisäilmaan	-	-	Suppea	US/AP liitoksien ja läpiviennin tiivistys. Sokkelin paikkakorjaus. Ikkunoiden uisminen. Mikrobaivaurioiden kohdan (länsi p.) ulkopuolelta eristeen vaihto sokkeli ja US. Eristä puolelta sokkelin eriste uusiksi, kun US korjataan. US korjaus vaihtoehdot: A: Eristeen uisminen vaurioituneilta osilta, leikkipäkin korroosio korjaus, kattava sisäkuoren tiivistys. B: Koko US-rakenteen kattava saneeraus (kokoan uusiksi). IV säätö.	Tiivistys vaikka ilmavuodot todettu viiheleisellä tavalla. Ikkunat OK. US purku vaurioituneelta alueelta OK. Korjausvaihtoehdot B: Kokoan tiivistys, perusteltu rakennusfysikaaliseen toimintaan (heikko). IV OK.	CO2 nousee turtien aikana liian korkeaksi, jos yli 20 oppilasta. Merkittävät ylipaineessa, mutta kuitenkin vuoto sisään päin? Väärin tulkittu/suoritettu tutkimus? RT-kortti marraskuun 18. päivä julkaistu, jossa ohjeistettu merkittävien.	
	Rakennus, korjaus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus	Ohutetutkimukset: tili hyvääkuntoinen	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kohde	Tutkimus	Alustavien havaintojen ja pintakosteuskartoitus	US-lukubit	Imeytytykset	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusajanjälkeinen perustarvitus	Toimenpiteusluokitus	Johtopäätökset	Muut huomiot
Kellarin vesivahinkokatselmus		Syöksytörmästä sadevedet sokkeille. Pinta-alueen pintakäsitelyt seiniin	-	-	Sadevesi/salaojasta	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusajanjälkeinen perustarvitus	Toimenpiteusluokitus	Johtopäätökset	Muut huomiot
Sisäilmasto ja kosteustekninen kuntokatselmus		Tuulikaapin ikkunan puolessa mikrobilajia, korvausilma US/ikunallistamisesta.	1 kpl ikkunan alumiini. Vahva viite	Merkittävää: Lattiatilintymä/äpi verrat/välsseinätiili laudoit. Litoskoridat katto/seinä.	Korvausilmaventtiiliin auki: -5...-25 Pa, kinni: -3...-47 Pa	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusajanjälkeinen perustarvitus	Toimenpiteusluokitus	Johtopäätökset	Muut huomiot
Rakennus ja IV-tekniikan katselmus		Rakennusvaikossa päätyseinä ulkoa märkä. Korvausilmaventtiilit pääosin kinni ja aukot erittäin likaiset	0, 3	Silmämääräisesti ainakin yhdestä mikrobilasvuun viittaavasta näytteestä sisäilmassa	-	Korvausilmaventtiiliin t erittäin likaiset, joten saatavat olla epäpuhtauslähde.	Meiko-kattava	OK	Koulun tilat, ryönnätkätilat, sadevesikanavien korvausilmaventtiilit pölytyä kinni, koska veden tunnetta.	Ap ilmalinjat saattavat kulkeutua ylös
Kosteus- ja sisäilmastotutkimukset (ilmapäätönnän rakennus)		Kuittien seinässä maali lohkeillut, pintakosteus koholla. Toimiston seinässä maali lohkeillut, kosteus ok. Ulkopuoli: kasvillisuutta seinän lähellä, maa viettää rakennusta päin. Rakennusvaikossa maanvastalet seinät + eriste kosteat. Lattia/seinä liitoksessa iso rako (lattia painunut)	0, 1	Lattia/seinä silmämääräinen rako	-	-	Meiko-kattava	OK	Purku edes osittain hyvin kyseenalaisia yhden näytteen perusteella. Lattia/seinä raon tiivistäminen ok.	Koneellinen tulo ja poisto. Katosse kosteusjälkiä ja pintakosteus koholla.
Kosteus- ja rakennustutkimukset (aluketussij)		Eteläisen tiiliseinässä kosteusjälkiä rakennusvaikossa seinän alaosaa tyylin märkä. Luokkahuoneissa päätyseinässä maalinihoheilla (kastunut jousku). Tiiliseinässä haitkania.	3, 6	-	-	-	Meiko-kattava	OK	Purku alka raskas ilman laajempia selvityksiä. Ei tiivistystä IV:n takia, vaikka ehdotetaan tulo poistoa ja US uusimisen yhteydessä hyvä huomioida sisäkuoreen tiivis. Ollis loka/kuorintä kuitonkin korjata IV ja US/AP ja US-litokset välialkaiseksi ratkaisuksi, ei suositella koneellisen poiston takia). Koneellinen tulo ja poisto IV	Purku alka raskas ilman laajempia selvityksiä. Ei tiivistystä IV:n takia, vaikka ehdotetaan tulo poistoa ja US uusimisen yhteydessä hyvä huomioida sisäkuoreen tiivis. Ollis loka/kuorintä kuitonkin korjata IV ja US/AP ja US-litokset välialkaiseksi ratkaisuksi, ei suositella koneellisen poiston takia). Koneellinen tulo ja poisto IV
Kosteus- ja rakennustutkimukset (ilmapäätönnän rakennus)		Rakennusvaikossa jälkeen vahva mikrobilajia oisessa vaikkossa. Puhin vaurio seinän alaosassa ja siinäpään puolella, jossa maa viettää rakennusta päin.	1, 3	-	-	-	Meiko-kattava	OK	Painesuhteet ja ilmajänteet jälleä korjauksen jälkeen. Tämä korjaus suunniteltu. Tämän korjaus suunniteltu. Tämän korjaus suunniteltu.	2010 tehdyn tutkimuksen perusteella alettu US korjaus suunniteltu. Tämä korjaus suunniteltu. Tämän korjaus suunniteltu.
Lämpökuvaus		Pintakosteudet koholla kellarin lattian ja US alaosassa. Maanvastalet seinät jatkuvasti märkä. Rapalauterit. Silmämääräinen liitoset US liitoset	3, 6	Silmämääräinen rako	-	-	Suppea	OK	Maanvastalet ap rakennusvaikossa ainakin kellarin. Ensimmäisen purku ja ukos enän ja sokkein	Alkuperäinen tutkimus on ollut tiivistä. Tämän korjaus suunniteltu. Tämän korjaus suunniteltu.
Kosteustekninen kuntokatselmus		Pintakosteudet koholla kellarin lattian ja US alaosassa. Maanvastalet seinät jatkuvasti märkä. Rapalauterit. Silmämääräinen liitoset US liitoset	3, 6	Silmämääräinen rako	-	-	Meiko-kattava	OK	Maanvastalet ap rakennusvaikossa ainakin kellarin. Ensimmäisen purku ja ukos enän ja sokkein	Alkuperäinen tutkimus on ollut tiivistä. Tämän korjaus suunniteltu. Tämän korjaus suunniteltu.

Kohde	Tutkimus	Aistinraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobi	Ilmavaihtajat	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusajajaus	Toimenpidesuosituks	Johtopäätös	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä
Ikunat ja metallilukot uusittu 2005 Vesikatot: uudet pinnoitukset ja räystääspellit v. 2004 ja v. 2006											
Sisäilmasto ja kosteustekninen kuntotutkimus	Putkikanalain luukkujen kohdalla hajuahtoja. Olosuhteiden tarkastus perusteella (1 viikko) CO2 välikohdalla.	Alustavien tutkimusten perusteella (?) ryömintätila /sisäilma-ilmavaihtajat	-	Helikelliset paine-erot -13...-0 Pa	Laskeumapölykuuru tr. raja ylity. Lähireitä luuta vasti IV ja US eriste	Suppea	Sisäilmavaihtajat IV lehostus, US liittymät ja läpiviennit tiivistys ja tarkastus merkittävästi. AP: muuttamattomien toimenpideohjeiden mukaisesti tiivistys. Muuten OK	Ilmavaihtajat todetaan onnistuneesti raportissa, kuitenkin toimenpideohjeiden mukaisesti tiivistys. Muuten OK	Ryömintätilassa huoltotutkimus (tarkoitus on ollut polttaa)		
Rakennus- ja kosteustutkimus	Mikrobilajia pienten puoli- US tummentumaa, vettä päässyt ikkuna-aukosta. Ikkunoiden ympäristössä sokkelin alta, maastokosteus nousee. Korvausilmaventtiilin seinä liitos ja	Sisäilmavaihtajat: Ikkunaliitokset, korvausilmaventtiilin liitos ja Ap/luonnetila ilmavaihtajat	-	-	Suppea	Suppea	Sisäilmavaihtajat ongelmalliseksi koetut tilat alustavien tiivistettävien (lattiapäivien, korvauskohde ikkunoiden tiivistys. Putkikanalain ja läpivientien tiivistys. AP alipaineistaja. OK	AP halkeamia, joista ilmavaihtajat huonettaan, erityisesti käytävissä.			
Mikrobilajitutkimus	0, , 1					Suppea	Ilmavaihtajat tiivistys. Korvausilmaventtiilin liitoksen tiivistys tai uusiminen. Lattia/seinä raot tiivistettävä ja läpiviennit ryömintätila ja putkikanalain poisto IV. tiivistys OK	Toimenpidesuosituksia perustuvat edellä oleviin tutkimuksiin myös. Mikrobilajitutkimus viitteitä, mutta kattava tutkimus tehty saman ajanjaksoon	Tämä ja kolme edellistä tutkimusta tehty saman ajanjaksoon		
Ilmavaihtajat ja painesuhteiden mittaus	Osassa tilassa korvausilmaventtiili tukittu			Helikellinen ja muutamasta tilasta (?) alipainetta -5...-9 Pa ja -55...-65 Pa		Suppea	Tukittu korvausilmaventtiili korjattava. Raitisilmaventtiiliä opetustiloihin. Ryömintätilan alipaineistus. Koneellinen poisto ja tulo.	Vain osasta huoneista mitattiin tulo- ja poistotilat välipuolisissa tiloissa. Korvausilmaventtiilit muutettiin tilasta korvausilmaventtiiliksi tukittu ja alipaineistettiin. Sisäilmavaihtajat yhdistettiin tilasta viite mikrobilajitutkimukseen.			
Betonipalkkien kuntotutkimus	Julkisivun tiilimuurauksia ja leikkauksia on paikallistettu. Leikkauksissa kosteustilaa ja näissä teräskorroosia (erästä erillisesti).					Suppea	Palkkien korjaus/kosteusrasituksen estämien lähinnä mahdollista, jos tiilimuurauksia uusitaan, leikkiä jätetään US kosteudet pois betonipalkista. Peltitila palkin reunaa (tippa-nokka) ja betonin vettähyökkäys pinnon. Korroosiokehien terästen puhdistus, pinnotus ja laastipaikkaus.	Näyttävien avulla korvausilmaventtiiliä ja teräskorroosioita.			
US ja kattojen kuntotutkimus	5, , 26					Suppea	Merkkiaineella: Ilmavaihtajat sisäilmaan jalkalistoista, läpiviennit, ikkunoiden alakulmat, US-eristettyä ryömintätila ilmavaihtajat	Purku: US-eristevälin vaihto, leikkauksien kosteustilaa, uusi tuuletus julkisivu. Ilmavaihtajat ryömintätila viite.	Merkkiaineella kaikki US-linjat. Katot hyvässä kunnossa. Yp rakennetut huoneet ja tuuletus hyvä.		
Ala-as- te ilmastointi						Suppea	Ilmavaihtajat vähän ristiriidassa aikaisempiin tuloksiin. Onko tehty toimenpiteitä välissä?	Tutkimuksessa selvitetty rakennuksen/tilojen ilmavaihtajat			

M

Kohde	Tutkimus	Alustinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobi	Ilmavytykset	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimuslaajuus	Toimenpidesuosituks	Lohdottomuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisällyksen laatuun vaikuttavia tekijöitä
	Kosteustekninen kuntotutkimus	US: Julkisivun saumat osittain rapautuneet, ulkonurkkien saumauksissa vaurioita. Vesikaton peltiyyden ylösnostot puutteelliset, kittaukset puuttuu pelti-tiili, ei myrskypelttejä.	1 US näyte, vahva vte. Ei tietoa mistä	Lämpökuvausten avulla todettu ilmavuotokohtia AP-US liittymä	-	-	Melko kattava	Ilmavuotokohtien tiivistys. Vesikaton kunnon selvitys, vaurioiden korjaus, myrskypeltit, ylösnostojen liitoksien tiivistys. Kuivausjärjestelmän tarkastus, IV perushuolto ja säätö. Julkisivun saumat korjattava.	OK		Ryömintätila matala, kallistukset rakennustapain. Runsaasti huonepäy. 2015
IV: puhdistettu/nuohottu 2013/2014											
Vuotaneen vesikaton pakkasus											
	Edellisen kohdekäynti ja tutustuminen tutkimuksen mukaiset jatkok tutkimukset	Muutamassa huoneessa aistittiin mikrobiperäistä hajua.	2, heikot viitteet. Toinen ei nykykulkim nousukotelo ja alla viitettä	Merkkiaine: ryömintätila-sisäilma: Ilmavuodot pilarien juuri, nousukotelo ja lattian raja muutamassa huoneessa	-	-	Melko kattava	Vanha US, nykyinen väliseinä purku. Ryömintätila: poistot IV tehostus. Ilmavuotoreittien tiivistys	OK	Mikrobinäyte vanhasta US rakenteesta, nykyinen väliseinä.	kosjauksenselvityksessä todettu, että edelliset toimenpidesuositukset tekennä. IV todettu tutkimuksessa 2015 edelleen epäasapainoiseksi, osin merkittäviä poikkeamia suunnitellusta ja puutteelline tulolima. 2016 todettu ryömintätilan selvityksessä, että korjaukset tehty vain osittain: ryömintätila ei alipainestettu riittävästi ja maa-aines kapillaarista.
Vesikaton vesivuotoalueiden tarkastus	US: saumoissa halkeamia, yläreunan rei'istä yhteys ylätilaan. Vesikaton peltiiliitokset epätiivit	Yhden tilan US pintakosteudet koholla, syöksytöryvien sadevedet kastelevat sokkelia ja US alaosaa. Julkisivu pääosin hyväkuntoinen, paikallisia vaurioita. Ikkunaliittymät ja peltiyykset tiivistämättä ja ikkuna peltitysten kallistukset loivat	-	Silmämääräisesti ja merkksivulla: Ikkunaliittymät ilmarakojä, tod. näk. myös AP-US	-	-	Suppea	Vesikatot: Saumat tiivistetään, kate pinoitetaan tai vesikat uusiaan -> suositellaan pinoitusta		Vammaisuusarvona vesikatosata sadevesivuotoja eri ajankohdina. Raportissa: tutkimuksen aikaa sisällyttävää parantavia korjauksia?	
Sisäilma ja kosteustekninen tutkimus			-	Silmämääräisesti ja merkksivulla: Ikkunaliittymät ilmarakojä, tod. näk. myös AP-US	-	-	Melko kattava	Sisäkuoren ilmavuotojen tiivistys. Vesipeltien tiivistys ikkunaliittosten ja ikkunavälien tiivistäminen. Siivous. Tiivistämisen jälkeen IV säätö. Painesuhteiden tasapainotus	OK		
Ryömintätilan tiivistys, alipaineistaja, tuuletuksen paramus 2015. Sisäkuoren tiivistyksiä. Et tarkempia piirustuksia IV mittaus ja säätö. Rakennuksen osittaisia puhdistustoimenpiteitä 2015											

Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobit	Imaytykset	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimuslaajuus	Toimenpidesuosituks	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisällmän laatuun vaikuttavia tekijöitä
O	Tammikuu 2007: IV puhdistettu. Korjauksia kesällä 2008. (uultavasti) IV säätö, silvout...										
	Rakenne ja sisälilmastotutkimus, Ateljé ja toimisto	-	-	Merkkiaine: Ateljé ilmavuoto US/ikkuna ja seinän halkeama, toimisto US/AP	Ateljé -10 alip.	-	Suppea	Ateljé: US/ikkuna lämmöneneristen kunto ja tiiveys rakenneavauksella, tarvittaessa materiaalinäytteet. IV puhdistus, suodattimien tiiveyden tarkistus	OK		
	Rakennusmateriaalinäytteiden mikrobianalyysi	-	0, 4	-	-	-	Suppea	Sisäkuoren tiivisyys. Laajempi US tutkimus	OK	Hankesuunnittelu palaveri - > sisäkuoren tiivisyys keväät kesällä 2009	Itäpuoleinen maanvastainen US pintakosteudet koholla. Ilmamäärät suunniteltua pienemmät.
		Tililmmuauksessa ei aistinvaraisesti puutteita, mahdollisesti epätiivit ikkunaliittymät ja puutteelliset räystäsraenteet. Vesikate on hyvässä kunnossa, räystäsraenteet ja myrskypellit ok	8, 25	-	-	-	Melko kattava	Sisäkuoren tiivisyys. IV tasapainotus. Merkkiaine: laadunvarmistuksena, homesiivous ja sisällmän ikkunaliittymien tiivisyys ja peilitysten korjaus. Vesikatot: läpivientin tiivisyys.	OK	Julkisivu tuulettumaton, paitsi koillisissa ja IV-konehuone. Johtopäätöksiä: sade ei yksin ole saanut mikrobikasvua aikaan, epäillään, että eriste kastunut	Alakatoissa päälystämätöntä mineraalivillaa. Pölynäyte: teollisia kuituja. Ateljé pöly tuloina: teollisia + ulkoilma. Aulan lasielementin alla rakojia, tiivistämisessä irti.
	US lämmöneneristen mikrobiutkimus	-	-	-	-	-	Melko kattava	Ilkunalittymien tiivisyys ja peilitysten korjaus.	OK	Vaikka paljon mikrobivittettä, niin US rakenteellinen kunto hyvä	
P	IV suojatuotteen parannus korjaus kevatella 2010: US liittymä ikkunat. AP ja katto tiivisyys. Ulkopuolista rakenteista vesikatto sekä salaojat ja sokkelit kuivatus.										
	AP ja US ilmavuotoselvitys	Ikkunoiden kamiliitoksissa rakojia. Kuivakalvo paksaus ei silmämääräisesti riittävä	-	Merkkiaine: Yksi epätiivisyyskohta, muuten tehty huolellisesti	-	-	Suppea	Epätiivisyyskohdan ja ikkunoiden tiivistäminen. Kuivakalvopaksumen riittävyys	OK	Merkkiaine: laadunvarmistuksena ilmatiivyyden parantamis korjauksen yhteydessä.	
	AP ja US ilmavuotoselvitys	Kuivakalvopaksaus nyt riittävä	-	Merkkiaine: Ilmavuotoja väliseinien kohdalla.	-	-	Suppea	Väliseinän purku US vierestä, jotta tiivisyys US/laatta saadaan kunnolla	OK		
	IV ruuhottu osittain (suppeasti) 2009										
	Rakennustekninen kuntotutkimus, tiiveystarkastelu ja salaojajärjestelmä	Sokkelissa ei vedeneristettä ulkopinnassa, pinnassa mekkejä kostumista. Ap tiivisyydet epämieluiset. US: yksittäisiä halkeamia/lohkeamia, elastisetsaumot erittäin huonokuntoiset. Ikkunatiivisyydet huonokuntoiset, pellityksissä epätiivisyyskohtia.	6, 7	Merkkiaine: Epätiivisyyskohtia pilari/seinä/hattia, sisäkuoren halkeamat ja ikkuna liittymät	-	-	Laaja	Tarkastusluukkujen ja läpivientien tiivisyys, Ap organinen aines pois. US kevyet: elastisten saumojen uudistus, ikkunaliittymien saumat, sisäkuoren tiivisyys (liittymät). US raskaat: Ulkokuoren purku ja uusiminen. Myrskypeltien lisäys ja räystäsliittymien korjaus.	Tiivisyys ok! Betoninen sisäkuori. Purku kyseenalainen, sillä julkisivu vaikuttaa katuolosuhteiden hyväksyttävältä.	Suunnitelmassa US tuulettuva rakenne, mutta ei rakenneavauksien perusteella. Myrskypelit puuttuvat vanhalta osalta, räystäsliittymien saumat epätiivit. Ap: vettä lammitoitukselta.	Pölyä huoneissa ja ilmanvaihtokanavissa. VIERKASVEISSA (aistinvaraisesti) mikrobikasvua. IV: suodattimien ohivirtausta, ilmamäärät poikkeavat suunnitelmasta, mineraalivillalla lähteitä, painesuhteissa epätasapainoa ja alipainepiikkejä kun IV pois päältä

Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobit	Ilmalyhytydet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimuslaajuus	Toimenpidesuosituks	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä
	Ympäristökeskuksen tarkastus	Ikkunat hataria, vuotoja ja vetoa. Kosteutta ikkunoiden yläpuolella.	-	-	-	-	Suppea	Ikkunat uusittava/kunnostettava. Vuotovauriot kuntoon	Ikkunat, vuodot ok. Korvausilmaventtiilien tukkiminen, ei ohjeistettu pois tästä?	Koneellinen poisto, tuloilma korvausilma reisiä (tutkittu osittain). CO2 mittaus: tuntien jälkeen koholla	
Peruskorjaus -05/06: mm. Koneellinen tulo, ikkunat vaihdettu suurimaksi osaksi, Ap lattiat pinoitettiin uusiksi, vesikatot											
	Kosteus ja rakennetutkimukset	luokka 206 vesivuoto ullakotilan vesikourusta. Pintakosteus ok. Pakokaasun hajua sisällä	0, 1, 2	-	ylip. Ei mainintaa mitaustavasta	Pölynäytteistä 2 tilasta teollisia kuituja ja 1 rakennuspölyä		Materiaalit, jossa mikrobikasvua tulee poistaa. Kuituliätteet paikallistaa ja poistaa. IV tasapainotus	OK	VOC- näytteitä ilma ja lattapinnoite-> ei polkkeavuusia.	
	Itäisen 2. krs sisäilmaselvitys	US pääosin hyvässä kunnossa, US betoni kohonnut pintakosteus 1 tilassa. Tunkkainen ilma. Vesivuotoja ikkunasta.	-	Lämpökuivauksen avulla todettu ilmavaroja (eristyspuutteita).	Hetkeellinen paine-eronittaus: Epätasapainoa: voimakkaasti ylip, alip		Melko kattava	IV kuntotutkimus, tiivisyys sisäkuori. Kattava siivous.	OK	Ikkunan yläpuoleinen lämmöneriste puuttuu sekä betoni paikassa. Ei merkittäviä nekoetta, koska ylip.	Vesivuotoja kosteutta (ikkunoista viemäreistä). Putkikanava ilma sisätiloihin päin. Teollisia kuituja. IV tulo ja poisto paikoitellen lähekkäin. IV epätasapainoa ja ilmanäärät poikkeavat suunnitellusta. Pölyä huoneissa, IV kanavissa. Lämpöeristys puuttuu. Ryömiätila suunnitelmista poiketen, ylipainetta huoneilman näiden, ei ilmanvaihtoa. Vanhoja viemäreitä ja vesijohtoja. Salaoja huonokuntainen.
	Vesikatot korjaustarvelisyyden selvitys	Pelti ja bitumi katteet kunto ok. Kaadot ok. Bitumivesikourussa puutteita. Räystäsbetonissa suolakidettä. Yksittäisiä reikiä tiiveys, puutteita	-	-	-	-	Suppea	Kattava pinoitus tiivistyskorjaus (peltikate), jotta käyttöikä säilyy. Selvien puutteiden korjaus kuten reikien paikkaus (tehtävä max 2 v. sisään)		Julkisivun läpi menee sadevesiputki-> vuotoja?	
	Rakennustekninen kuntotutkimus	US: pahaa rapautumaa, aukkoja eristettään, palkit kylmäsilloja. Kosteuskartoitus AP: vähän kosteampia alueita. Kosteuskartoitus US + pilarit: ei koholla.	2, 1, 2	Merkkiaine: Vuotoja ryömiätila ja putkikanava-sisäilma ja US erityisesti ikkunaliitokset	Lämpökuivauksen yhteydessä hetkelliset: -10...-2 Pa. Olosuhdemittaukset: painesuhteet epätasapainossa		Laaja	Salaojatutkimus. IV toimenpiteet saman ajankohdan IV tutkimuksen mukaan. Lyhytaikainen: IV säädöt + US/AP tiivistys. Peruskorjaus: US purku, AP IV, vesikatotkorjaus.	OK	Vesikatot epätiveys yms. korjaamatta. Bitumikourun tiiveys puutteellinen. Vesikatossa maalivaurioita.	
	Salaoja- ja sadevesijärjestelmien kuntotutkimus (luonnos)	Salaoja huonokuntainen. Sokkelissa ei ulkopuolista vedeneristystä ja vierustäytöt eivät toimi salaojakerroksena	-	-	-	-	Suppea	Salaojen uusiminen, sokkelin vedeneristys, uusi vierustäyttö		Edellisten tutkimusten tueksi. Annettu raportti LUONNOS	
Kosteusvauriokorjaukset: salaoja, sokkeli, US/AP ja ikkuna tiivistys, Ap kuivatus, vesikatolle uusi vedenohjauspelti ja sadevesikouru											

Kohde	Tutkimus	Aistinvaraiset havainnot ja pintakosteuskartoitus	US Mikrobi	Ilmalyhteudet	Painesuhteet	Muut epäpuhtaudet	Tutkimusajaus	Toimenpidesuosituks	Johdonmukaisuus	Muut huomiot	Muita havaintoja ja sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä
R	IV- ja kosteustekninen tutkimus	Pintakosteus: 1. krs lattia, US-liittymä ja alaosa kohonneita arvoja.	Maanv-US: 0, 1	-	Ylip. Todettu ilmajäärien mitauksessa	-	Suppea	1. krs US alaosan levyt uusiksi, IV polsto kuntoon ja säädöt kuntoon	OK	Lattiamatot suositellaan uusittavaksi. Ylip. Voi johtaa epäpuhtauksien kulkeutumiseen 1. -> 2 krs.	
	Lämpökuvauus	-	-	Ikkunatiivisteet ja lasitiiv., ulko-ovet vuotaa	0...-10 Pa alip.	-	Suppea	-		Kattavasti kuvattu koko rakennus, mutta kuvat ovat aika epäselviä, evätkä näytä asteikkoja lämpövuodoille	
	AP ja US tutkimus peruskorjaus hanketta varten	Maanpainumaa Ap, Ap ei tuulettuva	10, 2	-	-	-	Melko kattava	Ilmativieys tarkistettava	OK	Sokkeli/AP valetu luultavasti yhtenä, jolloin ei ilmalyhteyttä sisäilmaan. Mutta pilaniiliittymistä tai työsaumoista saattaa olla	
	Julkisivurakenteen kuntotutkimus	betoniteräksiset esillä, samat hiekkakantunut, ei myrskypeltejä, ikkunapeltien kaltevuudet riittämättömät, ei tuuletusaukkoja tiilimuurauksen alareunassa. Ohuthietiliili oksuamat ei	0, 12	-	-	-	Melko kattava	Lämmönieristeiden, ulkokuoren purku, rakennus, sokkelieristeiden purku, sokkelipinnan puhdistus ja uudelleen pinoitus	Tämän tutkimuksen perusteella purku saattaa olla järkevää. Mielenkiintoista miten mikrobituloukset vaihtelevat	Ikkunat ja ovet päätetty vaihtaa jo aikaisemmin	
	Merkkianekokeet	-	-	Säännöllisiä ja laajoja ilmajuuotoja ikkunaliittymät, US-lattia, patterikannakkeet ja ikkunoiden sisälle vuotoja	-	-	Suppea	Ikkuna- ja lattialitosten ja patteri/sähkökourujen tiivistykset. Luokaatlat alipaineistettiin -10 Pa koetta varten	OK	Merkkianemittaus 4 luokasta. 3 samasta ilmansuunnasta, 1 eri, 2/ 1. krs ja 2/2. krs. Tutkimus tehtiin peruskorjausta ennen tehtävien väliaikaisten toimenpiteiden lähtötiedoksi.	
Tilaaajalta tieto, peruskorjauksessa julkisivu purettu											

R

Liite 3

Ulkoseinän materiaalinäytteet																							
Kohde	US, yläosa					US, alaosa					US-ikkunallittymä/ikkunatilke					Sokkeli			n.	Muut huomiot			
	Koillinen	Kaakko	Lounas	Länsi	Koillinen	Kaakko	Lounas	Länsi	Koillinen	Kaakko	Lounas	Länsi	Koillinen	Kaakko	Lounas	Länsi							
A	2	2	1	2	3	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	3	4	4	1	42	Suoraviively Näytteitä sekä vaurioalue, että ei vaurioalue		
C																				Laimennos-			
																				4	Hallintosiipi. 1 villa, 3 styrox		
C																				Laimennos-			
																				10	3. krs lk. 306. Huon. koettu oireilua		
C																				Laimennos-			
																				50			
D																					11	qPCR Akreditoimaton analyysi	
E																				Laimennos-	12	Betonii-villa-tiili julkisivu. Sokkelissa korkki	
F																							
																					1	Ei tietoa Ikkunaremontin yhteydessä puretusta	
F																				Laimennos-			
																					9	H. 14, Psykologin, oireilua, h. 16 ei.	
F																				Laimennos-			
G																				Laimennos-	8	H. 12, 17 ja musiikkiluokka oireilua	
G																				Laimennos-	12	US-tiili. Liittyvissä levyrak. erikeri	
G																				Laimennos ja			
																					7	Epäselvät näytteenotokohdat	
H																				Laimennos-			
																					12	Merkkiäine kaikista näytteenotokohdista	
																				Laimennos-			
I																				Laimennos-	3	US: vä on vertailunäyte	
J																				Laimennos-	7		

